

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2014. – Т. 23, № 4. – С. 5-60.

УДК 536.7+574+330

ЭНЕРГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА. К 40-ЛЕТИЮ ВЫХОДА СТАТЬИ И 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ГОВАРДА Т. ОДУМА. ПЕРЕВОД И КОММЕНТАРИИ

© 2014 Г.С. Розенберг

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 25.08.2014

Выполнен перевод и комментарии к нему статьи Г. Одума «Энергия, экология и экономика», опубликованной в трудах Шведской королевской академии наук. Приведены некоторые биографические сведения о Г. Одуме.

Ключевые слова: энергия, экология, экономика, принцип Лотки, качество жизни людей.

Rozenberg G.S. Energy, ecology and economy. For the 40th anniversary of the article and the 90th anniversary from the birthday of Howard T. Odum. Translation and comments – Translation and commentary of H. Odum article «Energy, ecology and economy» published in the proceedings of the Royal Swedish Academy of Sciences is carried out. Some biographical information about H. Odum is given.

Key words: energy, ecology, economy, Lotka's principle, quality of life for humans.

В конце 1973 г. в сравнительно новом тогда журнале Шведской королевской академии наук "AMBIO: A Journal of the Human Environment" (начал издаваться с 1972 г.) была опубликована статья Говарда Т. Одума «Энергия, экология и экономика» [H.T. Odum, 1973], которая в дальнейшем перепечатывалась, входила в разные сборники и антологии и стала одной из наиболее полных (и в тоже время – радикальных) работ по комплексному анализу важнейшей мировой проблемы – взаимосвязи «трех Э (Е)» – энергетики (energy), экологии (ecology) и экономики (economy). Она не потеряла своей актуальности и сегодня, что и оправдывает мой запоздалый её перевод на русский язык для более подробного знакомства отечественного читателя с идеями, которые во многом легли в основу современных представлений о «зелёной» экономике (см., например, [Розенберг, Кудинова, 2012; Бобылев, Захаров, 2014]). Итак, сначала перевод статьи Г. Одума.

Розенберг Геннадий Самуилович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, genarozenberg@yandex.ru.

ЭНЕРГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА

Говард Т. Одум

Как результат давно прогнозируемого дефицита энергии, возникли вопросы взаимодействия энергетики и окружающей среды, которые [обсуждаются] в законодательных органах и парламентах, и собственно энергетики и экономики, связанные и инфляционными процессами. Все это вызывает озабоченность в обществе; пришло понимание того, что существует комплексная система, связывающая энергетику, состояние окружающей среды и экономику. Но мировым лидерам, чаще всего, дают советы специалисты, которые изучают только часть этой системы.

Вместо единой системы понимания, мы имеем аргументы противников опасных (рискованных) для благосостояния народов действий и [сторонников] роли человека как земного носителя и хранителя информации и программ. Многие экономические модели игнорируют эффект изменения силы энергии, считая её некоторой постоянной величиной воздействия; экологические активисты (ecoactivists) призывают правительства не тратить энергию на ненужные технологии. Ложные боги и [экономического] роста, и медицинской этики все более и более вносят свою лепту в голод, болезни и процессы разрушения на большей части планеты. Некоторые специалисты в области энергетики считают окружающую среду антагонистом, вместо осознания её в качестве энергетического союзника в поддержке биосферы.

Вместо неразберихи, индуцированной специфическим образовательным подходом, узким кругозором и мышлением западной цивилизации, давайте попробуем найти точки здравого смысла, которые исходят из общей энергетической теории. Очень простые обоб-

щенные диаграммы энергетических потоков позволяют количественно ответить на некоторые вопросы. Схемы и символы описаны далее и в недавно вышедшей книге (см.: Ссылки и примечания [1]).

Например, на рис. 1 показана основа продукционного процесса во взаимодействии ископаемых топливных запасов, устойчивой энергии солнечного происхождения и обратных связей, заложенных в структуре системы. Рис. 1 — это [основа] компьютерной имитационной модели нашего существования, что свидетельствует о стабильном состоянии после нашего текущего периода роста. Использование дополнительной ископаемой энергии (переменная состояния, танкообразный символ «Fuel Reserves») возвращает нас к снижению использования солнечной энергии через упрощение сельского хозяйства. Простые макроскопические мини-модели, основанные на обзоре мировой энергетики, дают возможность обсуждать разного рода прогнозные кривые, подобные детализированным моделям Форрестера и Медоуза (см. Ссылки и примечания [2]). В свете предстоящих нам серьезных перемен, давайте рассмотрим здесь некоторые из основных моментов, которые мы должны понять, чтобы можно было подготовиться к будущему.

1. Истинное значение энергии для общества — это чистая энергия, которая представляет собой то, что осталось за вычетом энергетических затрат на получение и концентрацию энергии.

Многие виды энергии обладают низким качеством и потому они должны быть сконцентрированы и транспортированы далеко от места добычи (из глу-

бин земли или моря). Энергия должна использоваться как непосредственно, так и косвенно для поддержания машин, людей, систем водоснабжения и др., для доставки самой энергии. Если потребуется десять единиц энергии, чтобы доставить десять единиц энергии до места использования, то нет и чистой энергии. Сегодня мы вынуждены добывать энергию все дальше и дальше, все глубже и глубже от места использования, добывать энергию все более низкого качества (например, нефть, разбавленную водой и ПАВ). Происходит и «разбавление» солнечной энергии, что требует работ по обогащению.

Рис. 1 А. Обобщенная глобальная модель системы «Человек – Природа» на основе одного типа используемого ископаемого топлива и устойчивой солнечной энергии. Показаны потоки энергии от внешнего источника (круга) через взаимодействие (заостренные блоки, помеченные «Х»), с действием мультипликатора) до конечного рассеивания тепла. Танкообразный символ относится к ископаемому топливу. Запасы топлива помогают развитию цивилизации (строительству, росту численности населения, информационным потокам, культуре и пр.).

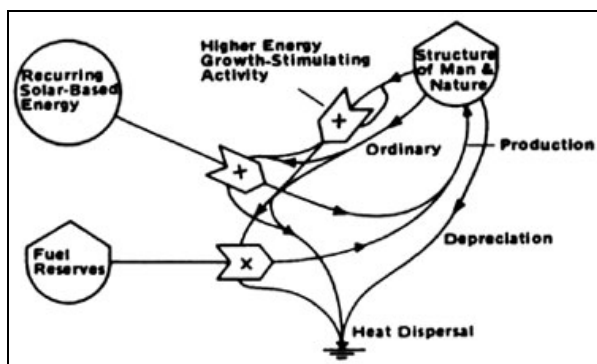


Рис. 1 В. Графические результаты моделирования (модель на рис. 1 А); доступные мировые запасы ископаемого топлива были приняты равными $5 \cdot 10^{19}$ килокалорий, а преобразованная человеком солнечная энергия (продукционные процессы роста) – $5 \cdot 10^{16}$ килокалорий; на поддержание цивилизационной структуры надо 10^{18} килокалорий. Пик структурного роста достигается примерно через 50 лет (в зависимости от суммы отводимых отходов).

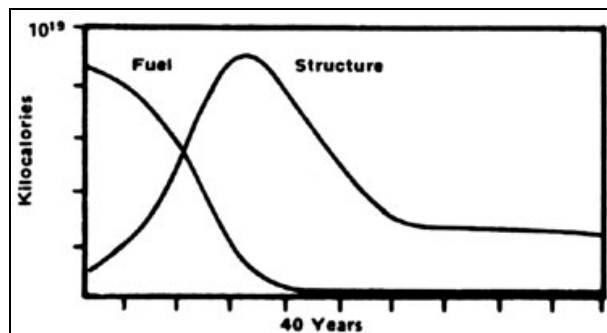
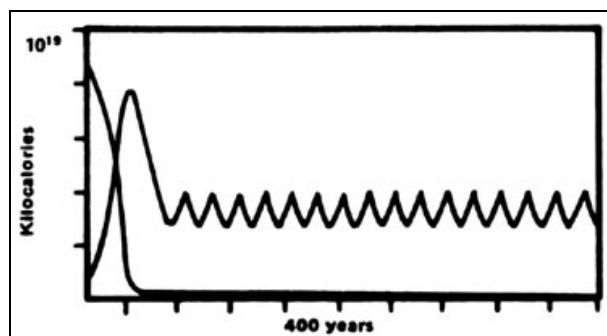


Рис. 1 С. Устойчивое состояние, наблюдаемое для некоторых параметров модели рис. 1 А.



Мы все еще расширяем нашу норму потребления валовой энергии, но поскольку мы вкладываем все больший и больший процент обратно в процесс поиска энергии, мы уменьшаем нашу долю чистого производства энергии. Многие из предлагаемых альтернативных источников энергии пока «забирают» больше энергии (в системе обратных связей), чем сегодняшние процессы. Рис. 2 показывает, как возникает чистая энергия в процессе добычи и поддержания технических структур по её переработке.

2. Уровень инфляции в мире – частично обусловлен увеличением доли ископаемых видов топлива, которые должны быть использованы в целях получения дополнительных ископаемых и иных видов топлива.

Если деньги циркулируют или же увеличиваются, и если качество энергии, достигающей общества для его обеспечения, ниже, а её требуется все больше, то производство реальной ра-

боты общества (в энергетическом эквиваленте) на единицу денег становится меньше. Деньги не могут стоить меньше; падает их покупательная способность. При этом экономика общего использования энергии продолжает расти, и нас вводят в заблуждение, заставляя думать, что растет общая стоимость [энергии], и мы вкладываем все больше денег, чтобы позволить циркулировать все время растущей системе «деньги – работа». На рис. 3 показан круговорот денег, который представляет собой ВВП, «движущийся» против течения потока энергии.

3. Многие расчеты энергетических запасов выполнены для валовой энергии, а должны быть оценены для чистой энергии, и, следовательно, их хватит на гораздо меньший срок, чем часто заявлено.

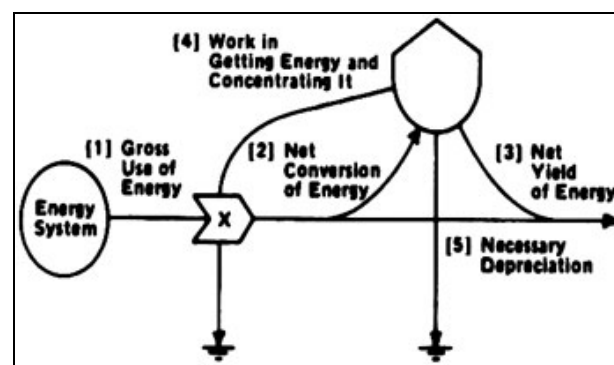
Предположим, что на каждые десять единиц некоторого количества сланца, предлагаемого в качестве источника энергии, были потрачены девять единиц энергии при добыче, концентрации, транспортировке и на соответствие экологическим требованиям. Таким образом, «резерв» будет составлять 1/10 (это и будет чистая энергия, которая может расходоваться так долго, как было рассчитано). Наши лидеры должны требовать от наших оценок энергетических запасов их расчетов в единицах чистой энергии. Чистые резервы ископаемого топлива, главным образом, неизвестны, но они намного меньше, чем валовые резервы, которые были основой общественного обсуждения и решений, направленных на дальнейший экономический рост.

4. Объединения должны конкурировать с целью экономического выживания в соответствии с принципом Лотки (см. Ссылки и примечания [3]),

в котором говорится, что побеждают и доминируют те сообщества, которые максимизируют общую полезную мощность от всех источников и гибко распределяют эту мощь на те потребности, которые влияют на выживание.

Программы выживания лесов, морей, городов и стран направлены на максимизацию мощности систем при достижении полезных целей. Первое требование заключается в том, что бы возможности максимизировать поступающую энергию, а второе – сделать использование этой энергии более эффективным и менее расточительным по сравнению с конкурентами и разного рода альтернативами. Для дальнейшего обсуждения см. ссылки на работы Лотки (Ссылки и примечания [3]) и Одума (Ссылки и примечания [1]).

Рис. 2. Диаграмма потока энергии, иллюстрирующая энергетические законы и различия между нетто- и брутто-энергетическими потоками.



5. Время, в течение которого существуют возможности для увеличения энергетических потоков, в соответствии с принципом Лотки, характеризуется стремительным ростом выживания, хотя там может быть много отходов.

Мы наблюдаем как «собака ест собаку – dog-eat-dog», – рост конкуренции каждый раз, когда возникает необходи-

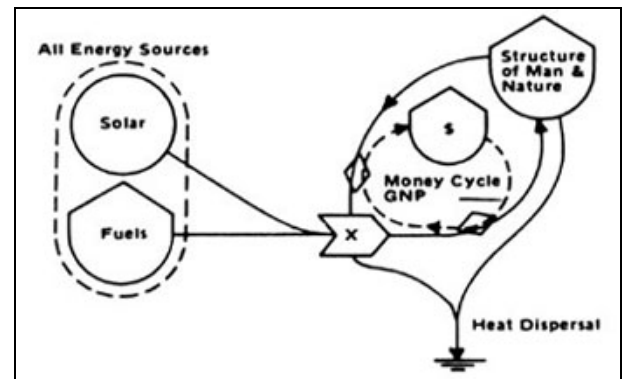
мость заселять голое поле, где выживание характеризуется, в первую очередь, быстротой захвата территории для покрытия поступившей дополнительной энергии. В начале роста экосистем (бедность структуры) господствуют сорняки, расточительно расходующие энергию и эффективно «работающие» на рост (хотя они и не долговечны). Сравнительно недавно (двести лет колонизации), современный человек освоил новые источники энергии, такие, как ископаемое топливо, новые сельскохозяйственные земли и другие специальные источники энергии. Западная культура, и совсем недавно примкнувшие к ней страны третьего мира и Восточной культуры, блокируются в режиме веры в неограниченный рост, как это необходимо для выживания. «Расти или умереть – Grow or perish» – это то, что требует принцип Лотки, но только в периоды, когда есть источники энергии, которые не используются в полной мере. На рис. 3 показана структура, которая должна быть построена, для того чтобы быть конкурентоспособной в переработке энергии.

6. В то время, когда потоки энергии использованы и не появилось никаких новых источников, принцип Лотки требует, чтобы те системы, которые не предпринимают бесплодных попыток роста, использовали бы все имеющиеся силы для долгого проживания с высоким и устойчивым разнообразием.

Всякий раз, когда экосистема достигает стабильного состояния после периодов сукцессии, быстрый рост специализированных видов сменяется сообществами с более высоким видовым разнообразием, более качественными и долгоживущими видами, более контролируемыми и стабильными компонентами. Коллективно, через разделение

труда и специализацию, климаксовое сообщество получает более устойчивый и доступный поток энергии, чем сообщества ранних стадий сукцессии с быстрорастущими и специализированными видами.

Рис. 3. Зависимость денежного цикла от замкнутой петли энергетического потока.



Наша система «Человек – Природа» скоро будет сдвинута в сторону быстрого роста, как по критерию экономического существования стабильно возможного роста, так и в качестве критерия максимизации работы для такого экономического существования (рис. 1). Сроки зависят только от реальности одного или, возможно, двух высокоэффективных ядерных энергетических процессов (синтез и цепная реакция), которые могут и не быть очень доходными. Экологи знакомы с обеими ситуациями (рост и устойчивое состояние) и наблюдают их регулярно в природных системах; а вот экономисты чаще всего обучались на периодах бурного роста, и многие даже не представляют, что есть такая вещь, как устойчивое состояние. Большинство экономических советников никогда не наблюдали устойчивое состояние экономических систем, хотя многие миллионы лет человеческой истории были близки к состоянию стабильности. Только два последних столетия мы видим взрыв экономического роста из-за использования ископаемого

топлива и энергии, которые накапливались в течение длительного геологического времени.

7. Высокое качество жизни для человека и справедливое экономическое распределение более тесно связано с устойчивым состоянием, чем в периоды роста.

В период роста, упор делается на конкуренцию, и различия в уровне экономического и энергетического благополучия только усиливаются; наблюдается конкурентное исключение, неустойчивость, бедность и неравномерное распределение богатства. В устойчивом состоянии, конкуренция контролируется и устраняется, сменяясь регуляцией систем, высоким разделением и разнообразием труда, равномерным распределением энергии, практической неизменностью систем и процессов; рост экономики происходит лишь со сменой целей развития. Желание иметь стабильной и качественной систему «Человек – Природа» заменяет стремление к получению чистой прибыли. Религиозная этика, более близкая примитивным народам, которые ранее были доминирующими в мире и культуре, основана на устойчивых потоках энергии от солнца. Социалистические идеалы более всего согласуются также с устойчивым состоянием, чем с ростом (особенно, в отношении распределения разного рода благ).

8. Успешно конкурирующие экономики должны использовать чистый выход более качественных энергетических потоков и субсидировать низкокачественные потоки энергии, так что бы максимизировать суммарную мощность.

Разнообразие видов в экосистемах позволяет использовать больше энергии. Многие из специализированных

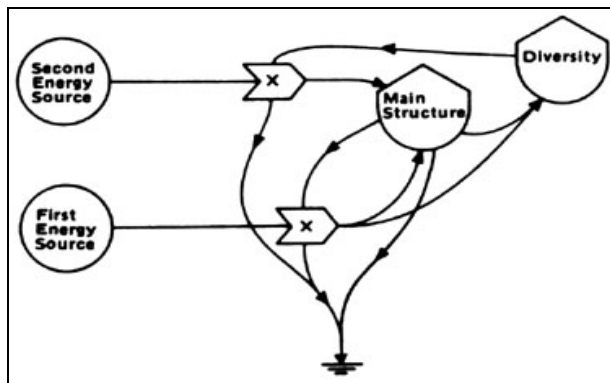
видов уменьшают свою численность и пользуются остаточной энергией, получаемой в качестве субсидий от более богатых компонент. Например, солнце, садясь, освещает верхушки деревьев и помогает затененным листьям получить некоторую дополнительную энергию из последних лучей неяркого света, достигающего полого леса. Система, которая использует всю избыточную энергию, получает немного больше энергии, даже от столь незначительных источников, что способствует общему выживанию. Сходным образом, мы теперь используем наши богатства ископаемого топлива, чтобы сохранить дешевыми все виды товаров и услуг нашей экономики, предоставляя субсидии для альтернативных (несущественных, *marginal*) видов энергии, что делает их более эффективными, в то время как они не смогли бы многое создать без таких субсидий. На рис. 4 показана роль разнообразия для вспомогательного отведения (*in tapping auxiliary*) энергии и сохранения гибкости в изменении источников.

9. Источники энергии, которые являются несущественными, будучи поддержаны скрытыми субсидиями, основанными на ископаемом топливе, становятся менее экономически выгодными, когда эти скрытые субсидии удаляются.

Следствием из предыдущего принципа использования «богатых» (более качественных) энергий является тот факт, что альтернативных источников энергии попросту не будет, так как не будет возможности субсидировать их после использования «богатых» энергий. Эта истина часто выпадает из поля зрения экономистов, потому что нет адекватного и признанного определения внешних изменений в сфере качества. Часто они предлагают использовать альтернативные источники энергии позже, когда

исчезнут «богатые» источники. Но это становится неосуществимым, если нет возможности субсидировать их. На рис. 4 показаны эти отношения.

Рис. 4. Отношение общего структурного обеспечения разнообразия вторичных источников энергии.



10. Повышение эффективности использования энергии и новые технологии – это не решение энергетических проблем, поскольку большинство технологических инноваций действительно при использовании дешевой энергии со скрытыми дотациями в виде воображаемых, дорогих энергетических структур.

В наш век прогресса и повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания, мы действительно затрачиваем основные усилия на развитие эффективности этих двигателей для субсидирования процессов с альтернативными источниками энергии. Многие расчеты эффективности не учитывают эти [дополнительные] энергозатраты. Мы создаем двигатели все лучше и лучше (повышаем их КПД), вкладывая все больше энергии в комплексы и заводы по их производству. Процент выхода чистой энергии в пересчете на всю затраченную энергию, только уменьшается (по крайней мере, точно не возрастает). Поэтому чистая энергия не может возрасти за счет совершенствования технологий.

11. Даже в городских районах более чем половина полезной работы нашего общества основана на природных потоках солнца, ветра, воды, волн и др., которые действуют через широкие зоны морей и ландшафты без денежных выплат. Экономика, чтобы конкурировать и выживать, должна максимально использовать эти энергии, не разрушая бесплатно их огромные субсидии. Необходимость использования экологических ресурсов часто не реализуется до тех пор, пока они воспринимаются как вытесняемые (are displaced).

Когда наблюдается рост площади городской территории, это может свидетельствовать только о добавке некоторых новых источников энергии, топлива и электроэнергии; но когда этот прирост доходит до 50% площади уже развитых территорий, он начинает разрушительно действовать на систему жизнеобеспечения, что было незаметно, пока эта площадь прирастала. В этот момент, дальнейший рост может вызвать ослабление в экономической конкуренции, потому что в районе теперь появился высокий энергетический сток. Например, в местах со слишком плотной городской застройкой, «закованной» в асфальт, возникает необходимость принятия и повторной обработки сточных вод. Как следствие, становится необходимой высокоспециализированная очистка этих вод, что влечет за собой «отвлечение» от «полезной работы» и денежно-кредитных ресурсов, и энергии, так как ранее (при меньшей площади) сточные воды сбрасывались без очистки (фактически, бесплатно).

12. Экологические технологии, которые дублируют доступную работу в экологическом секторе, – есть экономический гандикап (economic handicap).

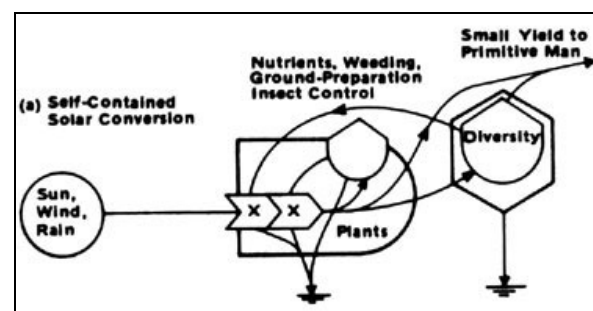
С ростом городских территорий возрастала роль многих наших энергетических исследований и разработок, которые велись в направлении привлечения энергетических технологий для защиты окружающей среды от отходов. В то же время, большинство этих отходов сами являются богатыми источниками энергии. Это можно наблюдать и в большинстве природных экосистем, которые могут быть «привлечены» для [энергетического] использования и вторичной переработки (using and recycling) в качестве партнера в городах без запасов ископаемых видов топлива. Почвы берут на себя утилизацию угарного газа, леса поглощают органику, болота принимают и регулируют паводки. Если рост городских территорий ведет к переуплотнению и необходимости использования экологических технологий, то он слишком велик, чтобы быть экономически выгодным для объединенной системы «Человек – Природа». Такой рост должен быть ограничен (to be arrested) или это приведет к депрессии и безуспешной конкуренции экономики человека и его окружающей среды. Например, редко можно оправдать высокую степень доочистки отходов при ничем не оправданном росте плотности населения – естественная экологическая емкость (буферность) земель не может быть хорошим и дешевым партнером для рециклинга. Человек в качестве партнера Природы должен использовать Природу, но это не означает, что, увеличив свою численность, он должен «перешагнуть» через нее; не означает это и развития тех отраслей, которые конкурируют с Природой за воду и отходы, что может стать энергетическим фактором выживания для обоих.

13. Солнечная энергия – весьма специфическая и «разбавленная» (dilute) энергия и затраты на её производст-

во, в форме удобной для человека, сосредоточены в лесах и растениях, используемых в пищу. Без энергетических субсидий доходность энергии солнца остается в рамках привычной доходности от лесного и сельского хозяйства.

Защитники основных новых (альтернативных) видов энергии, не зависящих от солнечной энергии, подчеркивают низкое качество последней – около 10^{-16} килокалорий на кубический сантиметр. Большая часть этой энергии расходуется на повышение качества пищевых продуктов. Растения строят крошечные микроскопические полупроводниковые фотонные приемники, в принципе, такие же, как солнечные элементы, но со значительно более высокими расходами, чем отмечают защитники солнечной энергии. Растения адаптированы к максимальному использованию солнечного света, с помощью которого они поддерживают разнообразие экосистем, что, в свою очередь, помогает максимизировать это преобразование, как показано на рис. 5 А.

Рис. 5 А. Схема трех систем использования солнечной энергии.



Если человек своей деятельностью (с использованием вторичной переработки отходов и управлением) заменяет «работу» экосистем так, как это происходит на животноводческой ферме, то хозяйство может демонстрировать высокую доходность как священная корова (sacred cow) в сельском хозяйстве

(рис. 5 В). Более высокие урожаи требуют больших субсидий на использование для некоторых работ ископаемых видов топлива. Например, растения и экосистемы используют солнечную энергию для получения некоторых структур (рис. 5 С), но это лишь часть энергии в топливно-энергетическом балансе, которые они поддерживают. Поскольку человек уже научился субсидированию сельского и лесного хозяйства с использованием ископаемого топлива, когда оно у него есть, солнечные технологии становятся вспомогательными (запасными, дублирующими). Таким образом, солнечная технология не была и не будет главным участником или заменителем ископаемого топлива, она будет неконкурентоспособна без субсидированной энергии ископаемого топлива. Некоторая экономия энергии возможна в системе отопления в доме, но в незначительном масштабе.

14. Энергия измеряется в калориях, BTU (British Thermal Unit, Британская Тепловая Единица; 1 кВт/ч = 3412 BTU/h), киловатт-часах, и других внутри конвертируемых единицах энергии, но имеет шкалу качества, которая не учитывает эти меры. Способность выполнять работу для человека зависит от качества и количества энергии, и эта способность измеряется количеством энергии более низкого качества, необходимого для развития энергии высшего сорта. Шкала [качества] энергии идет от разбавленного (dilute) солнечного света через растительный материал, уголь, нефть, электроэнергию к высококачественным усилиям компьютера и переработки информации человеком.

Высокие затраты на добычу, переработку топлива, разработку дорогостоящих (затратных) предприятий, хранение отходов, эксплуатацию комплексных

систем безопасности и эксплуатацию государственных органов, делает в настоящее время ядерную энергетику одним из основных альтернативных источников энергии, которая может развиваться только за счет богатой экономики. Самодостаточной и изолированной ядерной энергии в настоящее время не существует. Поскольку сегодня ядерная энергия [по объему] весьма незначительна, и представляет собой «сливки» достаточно дорогого топлива, накопленные в избытке в геологические времена, ископаемые виды топлива будут использоваться еще долго и нам не следует ожидать в ближайшее время заметного влияния ядерных технологий на экономическое выживание. Высокие энергетические затраты на строительство АЭС, могут стать фактором ускорения истощения традиционных видов топлива; рис. 4 иллюстрирует этот принцип.

Рис. 5 В. Человек как незначительная часть комплекса лесных экосистем.

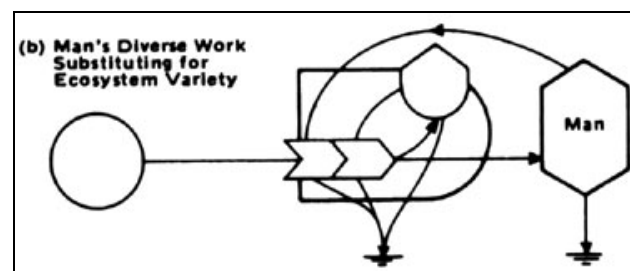
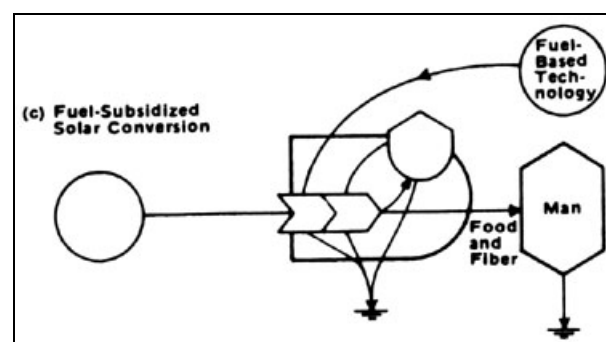


Рис. 5 С. Человек как важный партнер в сельскохозяйственной системе.



15. В настоящее время ядерная энергия, в основном, субсидируется от ископаемых видов топлива и по своей доходности едва приближается к чистой энергии.

Производственный процесс. Производственный процесс, в настоящее время, проходит первые испытания экономической эффективности, и мы пока не знаем, каков будет выход чистой энергии. В настоящее время АЭС функционирует с использованием ископаемого топлива, которое поддерживает работоспособность атомных реакторов; и количество чистой энергии (с учетом затрат на безопасность, случайные аварии, заводы по переработке радиоактивных отходов и др.) может оказаться за рамками ожидаемых высоких энергетических показателей ядерной энергетики. Возникает вопрос: должны ли мы использовать последний (исчерпаемый) резерв наших богатых ископаемых топлив на высокзатратные исследования и разработки, и высокие капитальные инвестиции в получение ядерной энергии для развития чистой доходности?

Термоядерный синтез (fusion). Еще один большой вопрос, будет ли термоядерный синтез крупным поставщиком чистой энергии? ТЭО пилотных установок с процессом [термоядерной] плавки, неизвестно. Никто не знает, сколько может быть получено чистой энергии в термоядерных реакторах, или какие объемы ископаемой энергии могут потребоваться для их эффективного функционирования. Из-за этой неопределенности, мы не можем быть уверены в действительной эффективности ядерной энергетики; в крайнем случае, уверен, может произойти выравнивание и снижение суммарных энергетических потоков, что может быть скоро станет шаблоном для нашего мира.

16. Значительные энергетические хранилища, которые необходимы для обеспечения устойчивости экономики от её колебаний в результате естественных причин или военных угроз.

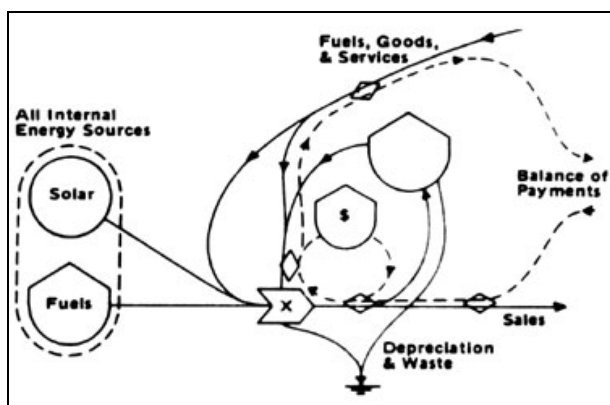
Авральное (frantic rush) использование последних нефтяных и газовых богатств, которые вносят в экономику не на много больше, чем урожай сельскохозяйственной продукции или туризм, — это не путь для сохранения власти или политической стабильности и военной безопасности мирового сообщества в целом. Стабильность в мире требует недопущения больших войн, равномерно распределенного энергетике по регулярным оборонным структурам, которые должны быть сбалансированы без мощного силового градиента, поощряющего изменение государственных границ. Для такой стабильности требуется двухлетний запас энергии.

17. Общая тенденция состоит в том, что чистый благоприятный платежный баланс страны по отношению к другим зависит от относительно чистой энергии этой страны, включая природные (ископаемые) ресурсы и топлива на основе альтернативных энергий минус отходы и непроизводительное использование энергии.

Страны с богатыми запасами энергетических ресурсов могут более дешево экспортировать товары и услуги, чем те страны, которым приходится покупать у них топливо. Эти страны, получая поток энергии для производства полезной работы, становятся энергетически зависимыми иждивенцами первых стран. Страна, которая продает нефть и не использует её в своих границах, чтобы производить у себя полезный продукт, в равной степени зависит и от потока высококачественной энергии, и от внеш-

ней, в данном случае, энергии в форме технических товаров и услуг. Страны с самой сильной позицией – это те, в которых имеет место сочетание внутренних богатых источников энергии и внутренних структурно развитых производств, основанных на этой энергии. Соотношение источников энергии и платежных балансов, приведены на рис. 6.

Рис. 6. Диаграмма, показывающая, как источники и потери энергии влияют на платежный баланс и общую экономическую конкурентоспособность одной страны. Более сбалансированный результат достигается тогда, когда собственные источники энергии лучше, а отходы и траты меньше.



18. В периоды расширения производства энергии, многие виды первичного роста экономики могут быть направлены на обеспечение жизнеспособности и способности экономики конкурировать. Государственные институты, обычаи и экономическая политика могут ускорить потребление энергии в автокаталитическом процессе.

Многие «топливно-подкачивающие» свойства быстрорастущих экономик, естественно, выбираются и остаются в государственных процедурах и культурах этноса. Городская концентрация, высокий уровень использования машин, субсидии экономического роста, налоговые

скидки на истощаемые нефтяные ресурсы, рост численности населения, реклама, монолитное строительство и др., все это является энергетически дорогостоящим и для эксплуатации, и для обслуживания. Однако это обеспечивает жизнеспособность экономики до тех пор, пока роль этих свойств в качестве «топливно-подкачивающего» насоса находится в границах своей специальной стоимости. Сильная концентрация плотности энергетики осталась в прошлом, так как произошло ускорение энергетического роста из-за появления новых источников энергии.

19. В периоды, когда рост энергетики не представляется возможным, рост плотности населения и связанная с ним политика должны стать энергетически ответственными из-за высокой стоимости энергии.

Картина концентрации городского населения и политика стимулирования экономического роста, которые были необходимы в условиях роста добываемой энергии, в скором времени будут меняться. Следует ожидать предъявления дополнительных требований в отношении использования «топливно-подкачивающего» насоса, потому что он будет все больше и больше слабеть. Что же касается требований в отношении экономической деятельности [в условиях роста энергии], то они больше не будут работать, а, напротив, станут лишь примером «экономики успеха». Все это имеет смысл и является обычным делом для тех, кто изучает различные виды экосистем [в развитии и стабильности], но это выбивает почву «из под ног» у экономистов, которые теряют некоторую долю своей уверенности до тех пор, пока не узнают об экономике устойчивого состояния и её критериях экономического успеха. Страны с большими и дорогостоящими инвестициями в кон-

центрацию экономической активности, избыточной структурой транспортировки, субсидиями в расширение производства будут иметь серьезные проблемы. Даже теперь, те страны, которые еще не так далеко зашли в быстром сукцессионном росте, ощущают дискомфорт по сравнению с тем временем, когда они находились в более устойчивом состоянии, и начинают все более и более становиться приверженцами относительно невысокого [в энергетическом смысле] экономического состояния.

20. Природные системы, как известно, меняют период стремительного роста на устойчивое состояние с программой постепенной замены [структуры]; но известны и другие случаи, когда развитие сопровождается общим сбоем и разрушением экосистемы до появления следующего режима стабильного состояния.

В период роста добываемой энергии выделяются значительные средства на исследования и разработки; а вот в процессе устойчивого состояния или даже снижения добычи энергии, эти средства уменьшаются. При этом существует опасность того, что страна не будет готова к следующему «энергетическому рывку», который может наступить не ранее, чем через 5 лет, но вероятнее всего лет через 20. (Если термоядерная энергия – это в большей степени чистая энергия, приносящая доход [yielder], её роль будет возрастать позже, в период, когда интенсивность развития общей энергетики начнет отрицательно влиять на основные системы жизнеобеспечения, океаны, атмосферу и биосферу в целом).

Гуманитарные законы стран нашей Земли в настоящее время ориентированы на оказание медицинской помощи, борьбу с голодом и эпидемиями; они таковы, что ни одна страна не имеет

права на разработку важнейших продовольственных и других жизненно важных программ при наличии энергетического дефицита, который другие страны будут стремиться помочь преодолеть, используя свои резервы. Такого рода практика гарантирует, что ни одна страна не будет голодать «в одиночестве»: мы будем голодать все вместе, исчерпав свои энергетические резервы.

Хронические заболевания человека выступают как своего рода эволюционные регуляторы [его численности], действующие, как правило, через младенческую смертность и сострадательную (merciful) смертность от старости. И это при условии, что, в среднем, бесстрастное и точное энергетическое тестирование выживаемости человека демонстрирует зависимость от энергетических ресурсов. Даже в период высокоэнергетических медицинских чудес, энергия общей медицинской помощи зависит от общего количества энергии в стране; и если энергия на душу населения падает, то роль болезней как системы регулирования численности населения будет возрастать. Хронические заболевания, в лучшем случае, были и остаются энергетически недорогим регулятором.

Эпидемические заболевания представляют собой нечто иное. Природные системы, как правило, используют принцип разнообразия для ликвидации эпидемии. Наоборот, эпидемические болезни – это природное устройство для ликвидации монокультуры, которая может быть нестабильна. Человек в настоящее время культивирует домашних животных, выращивает высокие урожаи разнообразных монокультур (включая и себя, поддерживая высокую плотность человеческой популяции), источником бумаги для него являются сосновые деревья, основа питания – чудо-рис; все это он имеет до тех пор, пока обладает особой энергией для защиты этих ис-

кусственных способов поддержания своей жизнедеятельности и замены их на заболевание, которое помогло бы восстановить высокое разнообразие системы и, в конечном счете, более стабильный поток энергии.

Страшная перспектива, стоящая перед нами, заключается в том, что наши экономические советники будут продолжать настаивать на том, чтобы увеличить энергетический рост, не понимая того, что все резервы практически исчерпаны и нет возможностей смягчить период снижения численности популяции человека. Сокращение заболеваемости человека и продукции растениеводства может стать планетарным и внезапным, если отношение населения к продовольствию и медицинским системам обострится до максимума во время падения чистой энергии. В какой-то момент великого истощения башни ядерных энергетических установок, буровые нефтяных скважин и города опустеют из-за отсутствия достаточного количества топлива и технологий для их поддержки. Новый цикл динозавров будет пройден. Человек выживет, если он перепрограммирует систему своих потребностей и надолго согласует их с экосистемными возможностями, пока не прейдет осознание того, кто кому служит. Что хорошо для экосистемы, хорошо и для человека. А современные индустриальные культуры, которые утверждают, «что хорошо для человека – хорошо для природы», погибнут и будут забыты.

Существует знаменитая палеонтологическая теория, называемая ортогенетической, которая предполагает, что некоторые из крупных животных в своем эволюционном развитии приобрели и закрепили в своих структурах функции, которые были заимствованы у более мелких и находящихся на более низкой ступени развития животных. Механиз-

мы регуляции были связаны с размерами таким образом, что при их росте за пределами «точки самосохранения – point of survival», вид вымирал. Возможно, это – главный вопрос экологии, экономики и энергетики. Есть у человеческой системы возможность заморозить свой рост по сценарию ортогенетической теории к культурной катастрофы, или, наоборот, необходимо еще больше развивать творческую деятельность в современном энергетически-богатом мире, чувствуя необходимость перемен? Есть ли альтернативы у нашей молодежи, в подготовке к поэтапному переходу к штрафам в устойчивом состоянии, для сохранения лучшего из нашей эволюции (вида и общества) и наработки новых, более миниатюрных (тонких) методов взаимодействия в системе «Человек – Природа»?

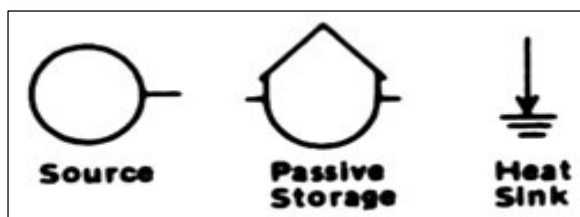
Заглядывая вперед, можно сказать, что Соединенным Штатам Америки и некоторым другим странам может повезти и они сами, достаточно рано, предвосхищая некоторые протестные движения в стране и мире в целом, принудительным способом начнут постепенные изменения своей энергетической политики, соотнося её с уровнем роста экономики, культурными изменениями (движение в направлении устойчивого развития). Самое страшное зрелище – это поведение Германии и Японии, которые имеют мало собственных источников энергии, заемные трубопроводы и танкеры, и как сумасшедшие несутся по дороге «бум-спад» экономики чтобы стать богатым на короткий период; обезьяна видит, обезьяна делает (monkey see, monkey do). Учтите также, что Швеция, в свое время, гремела на Балтике своим флотом, но лишилась девственных лесов. Позже она была абсолютно стабильна по энергии воды и агрокультур, но, затем, после нескольких лет роста, как и остальные страны,

пошла по пути «нефтяной культуры», которая, как уже отмечалась, не жизнеспособна.

Для чего вообще все это написано? Для того чтобы отказаться от экономической экспансии, остановить [экономический] рост, использовать имеющиеся силы для преобразований индустриальной культуры по достижению стабильного состояния, искать условия, которые позволят, в любом случае, отказаться от использования биосферы в качестве служанки.

Ссылки и примечания:

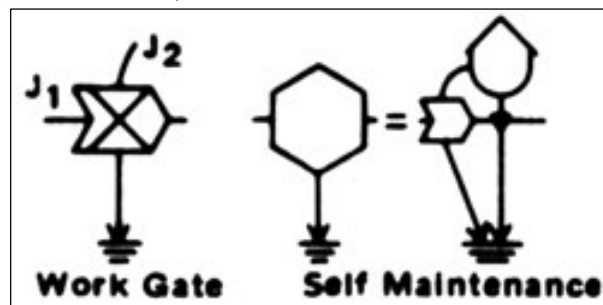
1. Н.Т. Odum, *Environment Power and Society* (John Wiley) 336 pp.
2. D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randry and W.W. Behrens III, *The Limits to Growth* (Universe Books, New York, 1972).
3. A.J. Lotka, *Contribution to the Energetics of Evolution in Proceedings of the National Academy of Sciences* 8, 147-188 (1922).
4. Я благодарен коллегам за сотрудничество и поддержку многих наших общих усилий, особенно моих проницательных аспирантов в Соединенных Штатах (С. Kylstra и Pong Lem) и в Швеции (Jan Zeilon и Bengt-Owe Jansson). Работа по моделированию была поддержана Комиссией по атомной энергии США (U.S. Atomic Energy Commission) в рамках контракта At-(40-10-4398).
5. Символы энергетических систем, используемые для отображения математических и энергетических связей между частями системы «энергетика – экономика – экология».



Все внешние источники энергии обозначены круговым символом. Все накопители энергии, структуры, денег, информации, стоимости и т. д., представлены танкообразным символом, и эти «танки» называются *переменными состояниями*. Вся энергия

представляет собой дисперсную систему, часть которой превращается в тепло, которое не имеет большого потенциала, выполняющая полезную работу. В диаграммах непригодная для использования тепловая энергия показана «радиатором с направлением».

Когда два разных вида потоков энергии (или материалов, информации или услуг, которые переносят энергию) *взаимодействуют* в процессах, в которых они необходимы, мы используем символ «рабочие ворота» (с обозначением X). Система действует как мультипликатор, если действие одного потока содействует другому потоку, и наоборот. Как и во всех процессах, полезная энергия, которая управляет ими, возникает и деградирует (покидает Землю через «радиатор»; тепло на Земле, в конечном счете, излучается в атмосферу от верхних ее слоев).



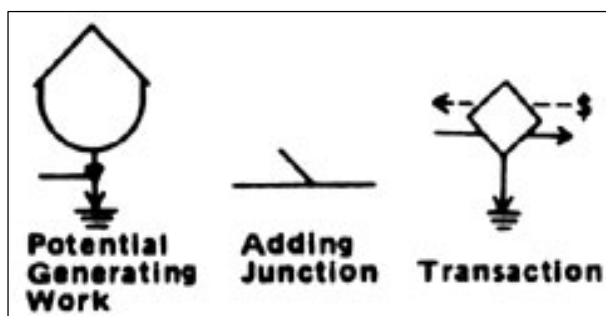
Самоподдерживание таких субъектов, как человеческие популяции, города, отрасли промышленности и другие организации, которые «питаются» энергией (мультипликативные насосы) показаны шестиугольным символом. Рассеяние энергии на поддержание работоспособности системы, ее рост и услуги обозначается «радиатором с направлением» на «дне» этого шестиугольника.

При разработке новых накопителей энергии, энергетические законы демонстрируют потери энергии в неиспользуемое тепло, что следует учитывать для того, чтобы сделать процесс хранения наиболее конкурентоспособными. Символ «потенциал для создания рабочих мест – Potential Generating Work», показывает необходимость рассеивания тепла в процессе хранения энергии.

Когда два разных [по качеству] потока энергии могут заменить друг друга, мы по-

казываем их стык (узел), как пересечение линий («Adding Junction»). Это означает, что потоки дополняют друг друга (в отличие от «рабочих ворот», где наблюдаются другие виды взаимодействий).

Поскольку денежный поток, как встречный поток энергии, товаров и услуг (последние двое также является носителем энергии), мы описываем путь, который включают экономические операции ромбовидным символом и двумя стрелками (направлениями) потоков. Энергия затрат на



ведение экономической деятельности проявляется как потерянная энергия («радиатором с направлением»).

Получаемые с помощью этих символов диаграммы, могут рассматриваться как серия бассейнов (резервуаров с водой) и труб с проточной водой между резервуарами, движимой давлением в хранилищах или внешним давлением и энергией давления воды; в конечном счете, они представляют систему с различной фрикционной дисперсией тепла. Диаграммы, таким образом, могут быть визуализированы, чтобы помочь увидеть сложность систем и понять, исходя

из их конфигурации, какие ответы мы получим на те или иные манипуляции. А в дальнейшем, учитывая Ссылки и примечания [1], диаграммы могут стать основой написания математических моделей (систем дифференциальных уравнений) для выполнения точных математических расчетов и прогнозов.

Напечатано изданием «Ambio»
(№ 6, 1973 г.) с разрешения
Шведской королевской Академии наук
в Стокгольме.

В 1974 г. статья была перепечатана в журнале «Mother Earth News» (Топека [Topeka], штат Канзас [Kansas]) с таким предисловием редакции:

«В начале ноября 1973 г. во время визита в новый офис "Mother Earth News" в горах Западной Северной Каролины, Джон Тодд (John Todd; основатель New Alchemy Institute [<http://www.compostguy.com/sustainable-living/new-alchemy-institute/>]) подарил редактору журнала ксерокс статьи (примерно, 14-я копия), которую даже осторожно следует назвать «статьей-взрывом» (dynamite paper). Нам достаточно было только взглянуть на эту чрезвычайно важную статью (первоначально написанную по просьбе Шведской королевской Академии наук), чтобы понять, что это один из документов, который наиболее кратко, и в то же время наиболее радикально, дает обзор реальных мировых проблем. Прочитайте её и сделайте выводы сами...»

Несколько слов о Говарде Т. Одуме



Говард Т. Одум
(Балтимор, США, 3 августа 1998 г.)

Фото автора

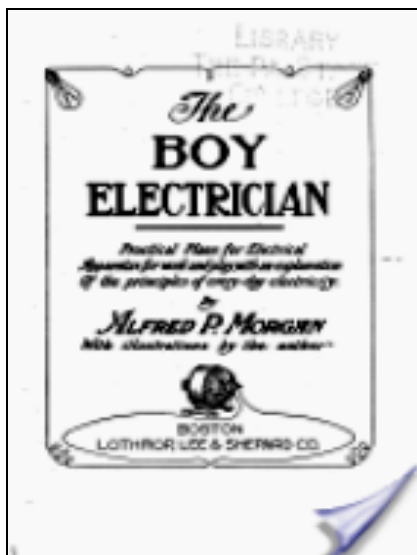
Фамилия «Одум» хорошо известна и в США, и во всем мире. Старший из Одумов, отец Юджина и Говарда, – социолог Говард Вашингтон Одум (Howard Washington Odum [1884-1954]) вел свои исследования в южных штатах Америки и обобщил их в монографиях «Южные районы Соединенных Штатов» (1936) и «Районирование Америки». Первоначально, Г.В. Одум служил на факультете Университета штата Джорджия в Афинах (Athens, Georgia). Позже, с 1919 г. он стал широко известен как преподаватель-социолог в одном из старейших университетов Америки (открыт в 1789 г.) – Университете Северной Каролины в небольшом городке Чапел-Хилл¹ [University of North Carolina at Chapel Hill, North Carolina], был президентом Амери-

канской социологической ассоциации, его книга "Расы и слухи о расах – Race and Rumors of Race" стала одной из первых монографий по становлению движения за гражданские права [H.W. Odum, 1943].

Первенец Говарда и Анны Кранц (Anna Luisa Krantz), Юджин Одум (Eugene Pleasants Odum [1913-2002]) родился 17 сентября 1913 г. в городе Ньюпорт штата Нью-Хэмпшир (США; Newport, New Hampshire), куда его родители уезжали отдыхать на озеро Санапи (Sunapee), чтобы избежать жаркого лета в Афинах. В тот же день, 17 сентября, но уже 1919 г. родилась сестра Мэри Френсис (Mary Frances Schinhan [1919-2005]), а в 1924 г., 1 сентября – Говард Томас (Howard Thomas Odum). Замечу, что с конца 60-х годов прошлого века публиковал работы по морской экологии Уильям Одум (William Eugene Odum [1942-1991] – сын Юджина П. Одума; см., например, «семейственный» опыт: [W. Odum et al., 1995]), стали появляться публикации Элизабет Одум (Elizabeth C. Odum – жена Говарда Т. Одума с 1974 г., почетный профессор Santa Fe Community College в Гейнсвилле, штат Флорида)...

Итак, Говард стал третьим, младшим ребенком в семье. Отец сразу ориентировал своих сыновей на занятия наукой для «способствования социальному прогрессу» (http://en.wikipedia.org/wiki/Howard_T._Odum). Еще в раннем детстве Говард много узнал о птицах от своего брата Юджина, с рыбами и методологией (философией) биологии познакомился после школы, работая у морского зоолога Р. Кокера (Robert Coker; 1876-1967), а знания об электричестве он почерпнул из научно-популярной книги А. Моргана (Alfred Powell

¹ По результатам переписи 2000 г. население города составило 48 715 человек, по неофициальным данным к 2004 г. эта цифра выросла до 52 440 человек.



Morgan; 1889-1972) "The Boy Electrician: Practical Plans for Electrical Apparatus for Work and Play, with an Explanation of the Principles of Every-day Electricity", первое издание которой вышло еще в 1914 г. После школы Говард поступил в Университет Северной Каролины в Чапел-Хилл (1941 г.), где стал изучать биологию и где еще будучи студентом опубликовал свои первые научные работы [Н.Т. Odum, 1945, 1946, 1947].



Его образование прервала Вторая мировая война; в течение трех лет (1943-1946 гг.) он служил (рядовой – курсант – лейтенант) в качестве тропического метеоролога в ВВС США в Пуэрто-Рико и с весны 1944 г. инструктором-метеорологом в зоне Панамского канала. Служба потребовала от него освоения курсов математики, физики, метеорологии (Chanute Field; Illinois). После войны (в январе 1946 г.) он вновь вернулся в университет Северной Каролины и в 1947 г. получил степень бакалавра (B.Sc.) в области зоологии и

был принят в общество «Phi Beta Кappa»² – одна из самых высоких почестей, которой может быть удостоен американский студент. Но учеба не прекращается: летом 1947 г. Говард проходит спецкурсы по беспозвоночным и эмбриологии в Вудс-Холе (Woods Hole Oceanographic Institution; Massachusetts).

В том же 1947 г., 6 сентября Говард женился на В. Вуд (Virginia Millie Wood – Odum), студентке филологического отделения Университета; у них было две дочери – Ann Frances Odum (живет в Гейнсвилле, Флорида) и Mary Odum – Logan (Анкоридж, Аляска). После смерти Виржинии в 1973 г., он 4 апреля 1974 г. женится на Э. Чейз (Elizabeth [Betty] Chase – Odum), у которой было четверо детей от предыдущего брака [http://www.absoluteastronomy.com/topics/Howard_T._Odum]. Таким образом, в семье воспитывалось много детей и, по-видимому, это был не простой период в жизни Говарда; позднее Элизабет писала о том [E.C. Odum, 1995, р. 360], что он советовал непременно разговаривать (беседовать) с детьми, поддерживая дисциплину и новые правила поведения в новой семье.



В июне 1951 г. под руководством лимнолога Э. Хатчинсона (George Evelyn Hutchinson; 1903-1991) Говард защищает степень доктора (PhD) зоологии в Йельском университете [H.T. Odum, 1950]; темой диссертации стало изучение круговорота стронция, что привело его от раннего интереса к орнитологии через метеорологию к биосферному пониманию протекающих процессов. В это же время он начинает плотное сотрудничество со своим братом Юджином, результатом чего стал первый учебник по системной экологии [E.P. Odum, 1953], в котором Говард написал главу об энергетике и где впервые «обкатал» новый графический «язык» (который он назвал «Energes») для создания имитационных моделей

в разрезе «энергетического видения» эколого-экономических систем.

Г. Одум на протяжении всей своей жизни считал, что «когда группа исследователей собирается вокруг стола, чтобы обсудить основные составляющие новой системы или проблемы, кто-то один должен предложить для всех схему согласованного обсуждения. Если предложенный им «язык» (система символов) понятен всем, то процесс обсуждения и построения схем объединяет исследователей и влечет минимум семантических разночтений и смысловых различий. Групповое, коллективное мышление стимулирует вос-

² Научное общество, основанное в 1776 г., как знак высшего признания академической успеваемости студентов. Символ Phi Beta Кappa Society – это Золотой ключ, с выгравированным на лицевой стороне изображением указательного пальца, трех звезд и букв греческого алфавита, от которых общество берет свое название. Звезды символизируют амбиции молодых ученых и три отличительных принципа общества: дружба, нравственность и хорошая учеба.

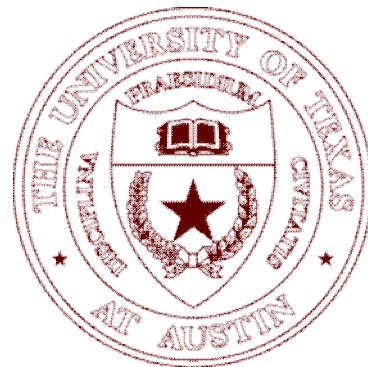
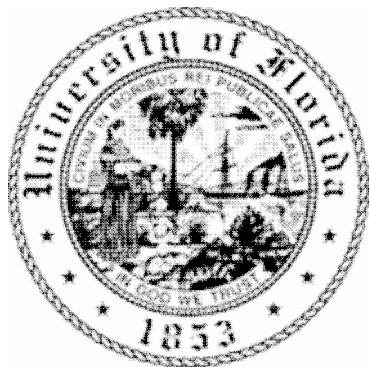
поминания и в сочетании с опытом порождает качественное и количественное знание по данной проблеме. Это может способствовать повышению эффективности управленческой, научно-исследовательской и образовательной надстроек принятия решений, а также может стать одним из инструментов обучения. Это первый полезный шаг, который должен предшествовать количественному анализу и процессу имитационного моделирования» [Н.Т. Odum, 1994, p. 21].

Но вернусь к биографии Г. Одума. С 1950 по 1954 г. он преподает биологию и лимнологию в университете штата Флорида, где организует гидро-биологические исследования родников и в устьях рек [Н.Т. Odum et al., 1955; Н.Т. Odum, 1956; Studies of Marine.., 1971]. В 1953 г. он получает свой первый научный грант от Геологического общества Флориды на изучение содержания фосфора в пресных водах – целых \$500! В 1954 г. он инициирует микробиологические исследования водных экосистем во время работы в университете Дьюка (Duke University) в городе Дарем (Северная Каролина); работы ведутся с использованием микро- и мезокосмов, малых водотоков и водоемов. В это же время вместе с братом Юджином они проводят серию экспериментов и наблюдений за трофической структурой и продуктивностью рифовых сообществ атолла Эниветок (Eniwetok Atoll; часть американской зоны ядерных испытаний) на Маршалловых островах; за статью в журнале «Ecological Monographs» [Н.Т. Odum, Е.Р. Odum, 1955; Е.Р. Odum, Н.Т. Odum, 1957; Barile, 2004] по результатам этих исследований в 1956 г. Говард и Юджин получили свою первую научную награду – молодежную премию Мерцер (George Mercer Award) Экологического общества Америки (ESA). 1955 г. ознаменован еще одной крупной научной удачей Г. Одума: совместно с инженером Р. Пинкертоном (Richard C. Pinkerton³; его научная карьера была прервана ранней смертью) они публикуют в журнале «American Scientist» этапную статью [Н.Т. Odum, Pinkerton, 1955], в которой сформулирован *принцип максимизации энергии*, известный сегодня в экологии как принцип Лотки – Г. Одума – Пинкертона [Реймерс, 1990, с. 147; Розенберг и др., 1999, с. 336].

С 1956 по 1963 г. Говард возглавляет Морской институт Техасского университета (Marine Institute of the University of Texas; Austin, Port Aransas). Именно здесь он предлагает концепцию взаимосвязи эколого-энергетических и экономических факторов в формировании антропогенных экосистем. С 1963 по 1966 г. он работает главным научным сотрудником в ядерном центре в Пуэрто-Рико (при университете Пуэрто-Рико; *исп.* Universidad de Puerto Rico) для комиссии по атомной энергии (US Atomic Energy Commission [US AEC]). В это время он организует масштабные экологические эксперименты по облучению тропических лесов в горах Лукильо (Luquillo Mountains).

³ Для общей образованности: Ричард Пинкерстон известен и как один из первых теоретиков развития музыкальных компьютерных технологий (статистическое исследование музыки методами теории информации [Pinkerton, 1956]).

В 1966 г. Говард возвращается в *alma mater* – университет Северной Каролины (Институт здоровья окружающей среды – Environmental Health Institute) в качестве профессора зоологии, ботаники, экологии и инженерии. В августе 1966 г. при поддержке ESA он организует и проводит симпозиум по радиоэкологическим исследованиям влажных тропических лесов. Здесь он ведет курсы системной и общей экологии, океанографии, читает краткие спецкурсы и ведет семинары по моделированию экосистем, лимнологии и тропической экологии.



В 1970 г. Говард в последний раз переходит в университет во Флориде, где трудится до выхода на пенсию в 1996 г. В это время он возглавляет раздел «Тропический биом» Международной биологической программы (International Biological Program [IBP]), входит в комиссию по распределению грантов US AEC (с его участием было поддержано более 100 естествоиспытателей, которые вели радиационные исследования тропических лесов. В 1973-1976 гг. он получает контракт на миллион долларов (совместно с Р. Кадлецем [Robert Kadlec]) для исследований кипарисовых водно-болотных угодий в южной Флориде по заданию Rockefeller Foundation [Wetlands Use..., 1976]. Они разрабатывают уникальную технологию очистки сточных вод в кипарисовых болотах, которая сегодня стала широко распространенной для улучшения качества воды в экосистемах; фактически, это можно считать одним из наиболее важных вкладов в область экологической инженерии.

Замечу, что Р. Кадлец с коллегами из Мичиганского университета, являясь гидрохимиками, основное внимание сосредоточили именно на гидрохимических процессах, протекающих в кипарисовых болотах, в то время как Одум направил свои усилия на комплексное (экосистемное) изучение этого объекта, как возможного «приемника» и эффективного «перерабатывающего» сточные воды устройства.

Этот большой контракт Рокфеллерского фонда позволяет Г. Одуму (правда, с интервалом, почти в 20 лет) создать две структуры при Университете во Флориде: в 1973 г. единственный в мире, в своем роде, Центр вет-

ландов⁴ (Howard T. Odum Center for Wetlands [CFW] at the University of Florida) и в 1991 г. Центр экологической политики (Center for Environmental Policy [CEP]).



**Robert H. Kadlec, Professor of Chemical Engineering
University of Michigan**



Миссия CFW состоит в обеспечении ЛПР (лиц, принимающих решения) научно-обоснованными знаниями о водно-болотных угодьях, что должно привести к лучшему пониманию их роли в создании устойчивых партнерских отношений человека и природы. Работая в этом направлении, Центр оказывает содействие и координирует междисциплинарные исследования и обучение, связанное с вопросами управления водно-болотными ресурсами. Эти пионерские исследования (преподавателей, сотрудников и аспирантов Университета) позволил Департаменту по охране окружающей среды Флориды (Florida's Department of Environmental Protection [FDEP]) принять ряд регламентов, направленных на полномасштабную переработку сточных вод в водно-болотных условиях (в 1987 г. FDEP ввел новые правила для сточных вод с

⁴ Ветланды включают разнообразные местообитания, такие как болота, торфяные угодья, поймы, реки и озера, прибрежные зоны, в том числе солончаковые болота, мангры и растительные слои морского дна, а также коралловые рифы и другие морские акватории, глубина которых при отливе не превышает шести метров, и искусственные ветланды, включая водоочистные пруды и бассейны.

рециклом через водно-болотные угодья). С момента своего основания CFW стал основной базой для аспирантов, специализирующихся в данном направлении, – более 300 аспирантов и 150 студентов за 40 лет деятельности Центра приняли участие в научно-исследовательских работах. На сайте Центра (<http://cfw.essie.ufl.edu/about/>) можно найти его значение для университета, штата Флорида, США и мира в целом.

Центр экологической политики является ведущим учреждением в междисциплинарном последипломном образовании, исследовании и пропаганде деятельности в рамках энергетической и экологической политики. Миссия CEP – внедрение результатов почти 30-летней работы в области методик планирования, проектирования, а также количественного измерения устойчивого развития человека и экологических систем. В рамках Центра осуществляется координация научных, технологических, экономических, правовых, политических и социальных аспектов экологической политики и управления. CEP объединяет преподавателей, заинтересованных в эффективной местной, региональной, национальной и глобальной экологической политике. Кроме того, Центр ежегодно проводит целый ряд международных конференций и факультативных занятий, приглашая ведущих ученых и специалистов, которые фокусируют внимание слушателей на самых важных, с глобальной точки зрения, аспектах исследований и образования в целях устойчивого развития. Через свои связи и информационно-пропагандистские программы, CEP обеспечивает форум для обмена информацией и расширения понимания важнейших экологических проблем нашего времени.



Говард Одум; конференция по национальным паркам, Новый Орлеан, 1976 г.

Замечу, что Г. Одум много путешествует и как *visiting professor*, и как участник многочисленных конгрессов, конференций, симпозиумов. Так, например, только в учебном 1975-1976 гг. он посещает Пуэрто Рико, Швецию, Японию, штаты Техас, Луизиана, Мичиган, Северная Каролина, Огайо, Вашингтон в округе Колумбия. В 1975 г. Г. Одум совершает поездку в СССР (в рамках обмена

соответствующих госструктур по охране окружающей среды); он читает лекции в Москве, Ленинграде, Минске и пос. Борок (Ярославская область; Институт биологии внутренних вод АН СССР).



Конференция по экологии пригородных лесов (Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology, March, 26-28, 1962, New Haven, Connecticut).

Как уже отмечалось, 9 мая 1996 г. Говард Одум выходит на пенсию, но в качестве почетного профессора продолжает читать лекции по курсу «Энергия и окружающая среда», ведет семинары «Системная экология» и «Экологическая инженерия»; и в этом же году, в возрасте чуть более 70 лет, он участвует в конференциях и выступает в качестве приглашенного лектора (подчеркну — на разномасштабных мероприятиях; см.: [<http://ufdc.ufl.edu/UF00101105/00001/16x>]):

- симпозиум Экологического общества Америки (Солт-Лейк-Сити, штат Юта);
- лекции в Университете штата Огайо;
- лекции в университете в Тайпее (National Chung Hsing University; Тайвань);
- лекция «Максимальная мощность морали» в Доме студента (J. Wayne Reitz Union Building of the University of Florida);
- две поездки в небольшой городок Стюарт (Stuart) во Флориде для подготовки конференции по водным ресурсам региона (округ Мартин);
- экологический саммит в Копенгагене (Дания, сентябрь; совместно со своим учеником и в последствии директором Центра экологической политики доктором М. Брауном [Mark T. Brown] и несколькими студентами);

редактирует книги «Окружающая среда и общество во Флориде» (выйдет в 1998 г. [H.T. Odum et al., 1998]) и «Моделирование в разных шкалах: Введение в системное моделирование» [H.T. Odum, E.C. Odum, 2000].

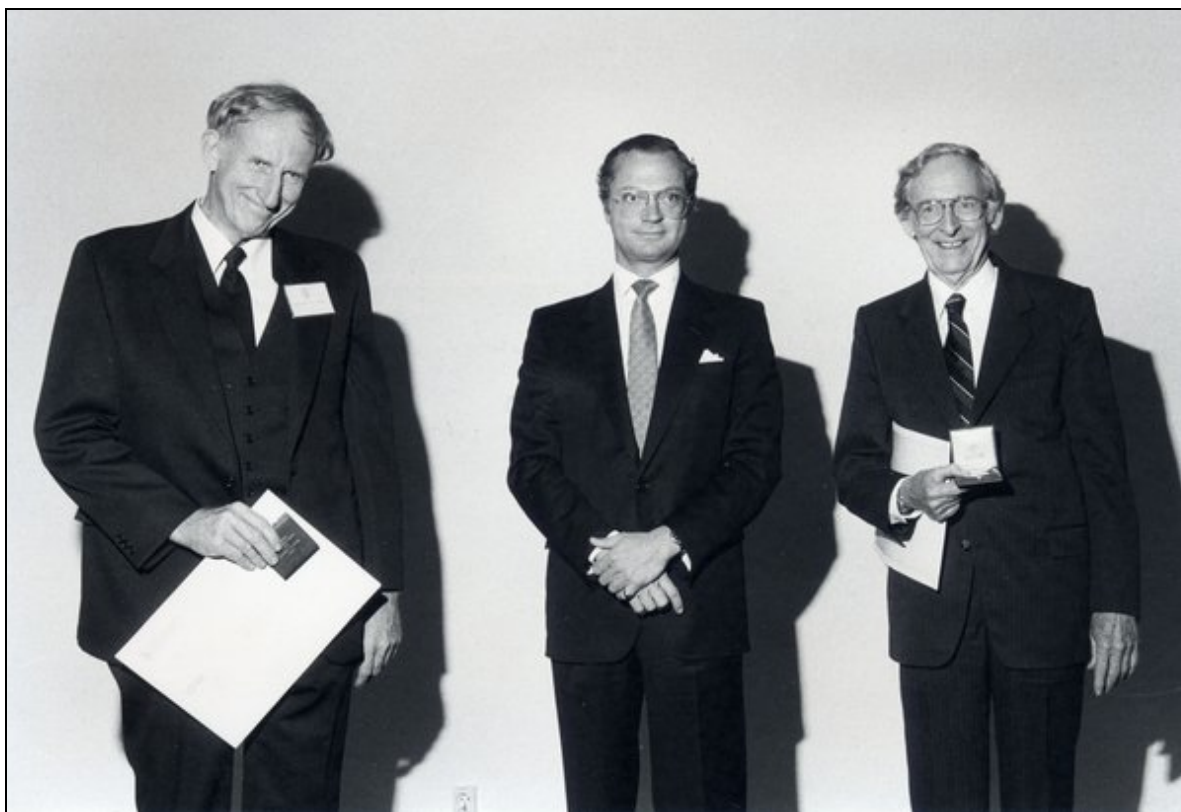


**На практических занятиях
(демонстрирует подстилку
влажных лесов)**



**Говард и Элизабет Одумы;
Аляска, 2000 г.**

Еще один аспект деятельности Говарда Одума, который следует взять на вооружение и отечественным ученым-экологам. Конечно, считать деньги в чужом кармане, — нехорошо; но в Интернете (<http://ufdc.ufl.edu/UF00101105/00001/1j>) имеется подробное резюме Г. Одума («Curriculum vitae for Howard T. Odum»), где приведены сведения и о грантах, и контрактах на выполнение научных исследований, которые провел в течение своей жизни Г. Одум. Анализ этих данных позволяет сделать такие выводы. С 1953 по 1999 гг. им было выполнено 84 контракта и гранта на сумму \$4 819 175 (в среднем, по 2 контракта в год каждый по \$57 тыс.). При этом, Говард «не гнушался» и маленькими грантами (например, в 1955 г. работа по заданию Duke Research Foundation «Минеральная глина в прудах» за \$500 или в 1967-1968 гг. совместно с Ernest N. Petteway исследование также на \$500 по потенциальной продуктивности сообществ с моллюском *Rangia cuneata* [Bivalvia, Mactridae]), и, естественно, крупными (самый большой, как уже отмечалось, на миллион долларов [совместно с Р. Кадлецом] — это исследование 1973-1976 гг. кипарисовых водно-болотных угодий в южной Флориде по заданию Rockefeller Foundation [Wetlands Use..., 1976]).



Crafoord Prize of the Royal Swedish Academy of Science.

Слева – направо: Говард Т. Одум, Его Величество Король Швеции Карл XVI Густав, Юджин П. Одум, 23 сентября 1987 г.

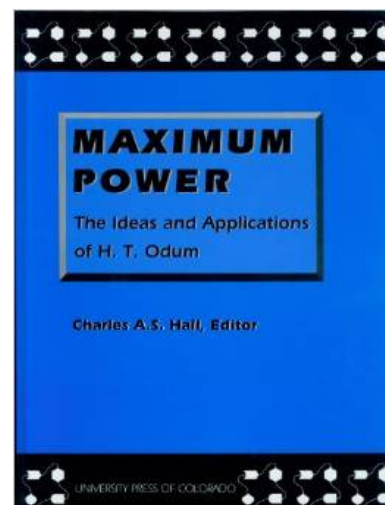
<http://www.cs.toronto.edu/~sme/DGC2003H/HowardThomasOdum.pdf>.

За свою плодотворную научную жизнь Говард Т. Одум был отмечен многочисленными наградами; выше я уже упоминал почетное студенческое общество «Phi Beta Карра», молодежную премию Мерцер Экологического общества Америки. Американский системный эколог, профессор университета в Нью-Йорке Ч. Холл (Charles A.S. Hall) назвал Говарда одним из самых инновационных и заметных мыслителей нашего времени [Hall, 1995a, p. IX], отмечая, что он, либо в одиночку, либо с братом Юджином, получили, по сути, все международные призы экологов. Так, вместе с братом они получили чрезвычайно престижные премии во Франции (France's L'Institut de la Vie, Environmental Prize, 1975; по \$34 тыс.) и в Швеции (Crafoord Prize of the Royal Swedish Academy of Science⁵, 1987; по 0,9 млн. шведских крон [около \$130 тыс.]), стали почетными профессорами университета в Огайо (Говард в

⁵ Премия Крафорда – одна из шести международных премий, вручаемых Шведской королевской академией наук (считая и Нобелевскую премию); учреждена шведским экономистом и промышленником Хольгером Крафордом (Holger Crafoord) и его супругой Анной-Гретой (Anna-Greta Crafoord) в 1980 г. Каждый год премией Крафорда награждаются лауреаты в одной из четырех номинаций: математика и астрономия, науки о Земле, экология и исследования по лечению полиартрита. Первым лауреатом в 1982 г. стал советский математик, академик В.И. Арнольд. Среди экологов премию получали Д. Янцен (Daniel Hunt Janzen, 1984), Э. Уилсон (Edward Osborne Wilson, 1990), Р. Мэй (Robert M. May, 1996), Э. Майер (Ernst Walter Mayr), Дж. Мейнард-Смит (John Maynard Smith), Дж. Уильямс (George C. Williams, все 1999 г.), И. Хански (Ilkka Hanski, 2011).

1995 г., а Юджин – в 1999 г.); некоторые из «сольных» наград Г. Одума представлены ниже:

- 1972 Премия Общества технических средств связи (Society for Technical Communication) за цикл статей в сборнике «Тропические дождевые леса» [A Tropical Rain.., 1970].
- 1973 Премия Международного центра развития исследований (International Development Research Council; Canada) в номинации «За выдающиеся достижения в области экологического планирования».
- 1975 Премия и медаль Президента Университета во Флориде
- 1976 Премия за охрану природы Сьерра клуба во Флориде (Florida Sierra Club).
- 1982 Премия за выдающиеся заслуги Президента Университета в Пуэрто-Рико.
- 1984 Награда Международного института прикладного системного анализа (Laxenburg, Austria).
- 1984 Пленарный доклад на Международном конгрессе по береговой инженерии и экологии (Роттердам, Нидерланды).
- 1985 Премия исследовательского совета Агентства о защите окружающей среды.
- 1989 Доска почета Отдела инженерно-экологических наук.
- 1989 Почетная грамота первооткрывателей Общества моделирования (Орландо).
- 1989 После получения Crafoord Prize, в Стокгольме (Швеция) в сентябре Шведской королевской академией наук был организован специальный симпозиум, на котором Г. Одум представил доклад-лекцию «Энергетическая иерархия в системах Земли и космология».
- 1989 Научный симпозиум в честь 65-летия Г. Одума (University of North Carolina, Chapel Hill). Вручен керамический диск «Экологу в природе». Подготовлен юбилейный сборник докладов симпозиума под редакцией профессора университета в Нью-Йорке Ч. Холла [Maximum Power.., 1995].

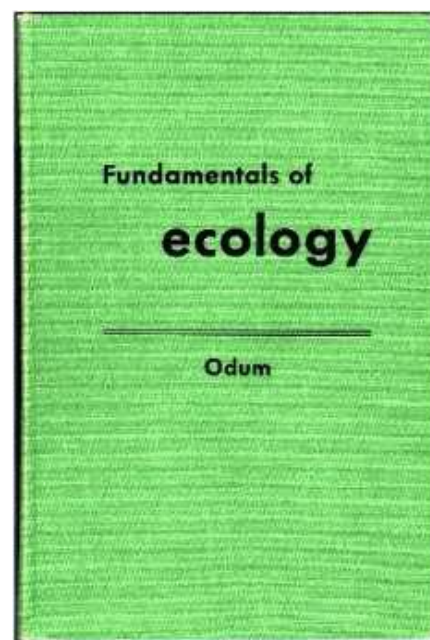


- 1993 Премия Edward Smith Deevey (американский эколог и палеоолимнолог) Florida Lake Management Society (Port Orange, FL).
- 1994 Почетный редактор журнала «Ecological Engineering».
- 1996 Знак выдающегося мастерства (Excellence Plaque) от University of Florida.
- 1998 Награда в знак признательности за достижения в области энергетических исследований от Международного семинара «Прогресс в энергетических исследованиях» в рамках 23-го Конгресса науки и технологий (Porto Venere, Italy).
- 2002 Марсианское общество, проводящее эксперимент Mars Desert Research Station (San Rafael Swell на юге штата Юта), назвало одну из теплиц с оборотным водоснабжением, «Теплицей Г. Одума (H.T. Odum

greenhouse)».

Но главные награды Говарда Одума – это его научные статьи и книги; список монографий (включая брошюры и препринты) представлен ниже.

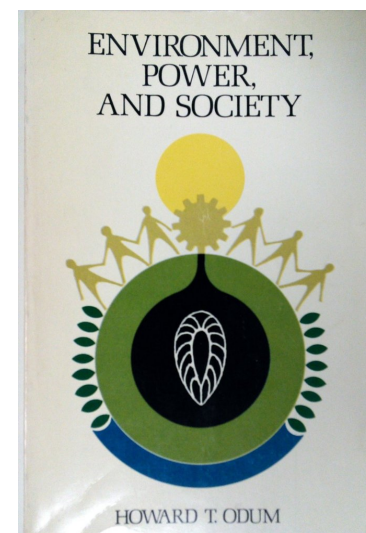
1. **Odum H.T.** A Course in Tropical Sounding Analysis. Howard Field (Canal Zone, Panama): AAAF Tropical Weather School, 1945. 75 p. (mimeo).
2. **Odum H.T.** Some Biological Aspects of the Strontium Cycle. New Haven (CT): Osborn Zoological Lab. Yale Univ., 1949. 5 p.
3. **Odum H.T.** Dissolved Phosphorous in Florida Waters. Tallahassee (FL): Fla. Geol. Surv. Report of Investigation, 1953. 40 p.
4. **Odum H.T., Sloan W.C., Galindo O., Parrish B.** Productivity of Florida Springs. Second semi-annual report to the Biology Division. Arlington (VA): Office of Naval Research, Dept. of the Navy, 1953. 25 .
5. **Odum H.T., Galindo O., Parrish B. et al.** Productivity of Florida Springs: Factors Controlling Marine Invasion in Florida Fresh Waters. Third semi-annual report to the Biology Division. Arlington (VA): Office of Naval Research, Dept. of the Navy. 1953. 23 .
6. **Odum E.P., Odum H.T.** Fundamentals of Ecology / 2nd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 1959. 546 p.⁶



7. **Odum H.T.** The Rain Forest Project. Annual Report FY 1965. San Juan (Puerto Rico): Puerto Rico Nuclear Center Bull. 1965. V. 61. 220 p.
8. **Odum H.T., Bloom S.** Hydrogen Budget and Comparison Compartments in the Rain Forest at El Verde, Puerto Rico, Pertinent to Consideration of Tritium Metabolism. Inter-Ocean Canal Survey Memorandum. Columbus (OH): Battelle Memorial Institute - 2, 1967. 32 p.
9. **Odum H.T., Copeland B.J., McMahan E.A.** Coastal Ecological Systems of the United States. Report to Federal Water Pollution Control Administration. 3 Vols. Washington (DC): Dept. of the Interior. 1969, 1405 p.

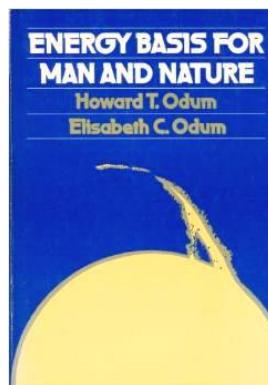
⁶ Первое издание вышло в 1953 г. под фамилией только Ю.П. Одума (глава об энергетике экосистем, как уже отмечалось, была написана Г.Т. Одумом); пятое издание вышло в 2005 г. под двумя фамилиями: Ю. Одум и Г. Барретт [Gary W. Barrett].

10. **Odum H.T.** Environment, Power and Society. N. Y.: John Wiley, 1971. 336 p. (перевод на испанский язык [1980]).

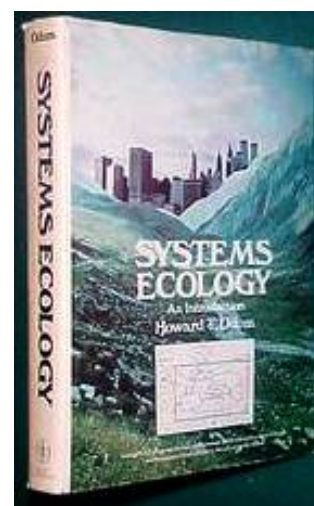


11. **Lugo A.E., Snedaker S.C., Bayley S., Odum H.T.** Models for Planning and Research for the South Florida Environmental Study. Report on Contract 14-10-9-900-363. Washington (DC): National Park Service, U. S. Dept. of the Interior and Center for Aquatic Sciences; Univ. of Florida, 1971. 141 p.
12. **McKellar H.N., Odum H.T.** Energy Circuit Model and Simulation of the Gulf Shelf. A Progress Report to Gulf Research Universities Corporation and Oceanography Division of the National Science Foundation, Project GA 29792. Washington (DC): NSF, 1972. 55 p.
13. **Wetterquist O.F., Peterson L.L., Odum H.T. et al.** Identification and Evaluation of Coastal Resource Patterns in Florida. Tallahassee (FL): Report to Florida Coastal Coordinating Council, 1972. 35 p.
14. **Odum H.T., Copeland B.J., McMahan E.A.** Coastal Ecological Systems of the United States. 4 Vols. Washington (DC): Conservation Foundation, 1974. 1976 p.
15. **Odum H.T., Sell M., Brown M. et al.** Models of Herbicide Mangroves and War in Vietnam. The Effects of Herbicides in South Vietnam, Part B: Working Papers. Washington (DC): National Academy of Sciences, 1974. 302 p.
16. **Wetterquist O.F., Peterson L.L., Odum H.T. et al.** Identification and Evaluation of Coastal Resource Patterns in Florida. Tallahassee (FL): Final Report for Florida Coastal Coordinating Council, 1974. 83 p.
17. **Odum H.T.** Implications of Energy Use on Environmental Conservation and Future Ways of Life. Preprints UNESCO Conference in Zaire, Africa, Port Aransas (TX): Univ. of Texas Marine Sci. Inst., 1975. 20 p.
18. **Odum H.T., Ewel K.C., Mitsch W.J., Ordway J.W.** Recycling Treated Sewage through Cypress Wetlands in Florida. Occasional Publication No. 1. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1975. 16 p.
19. **Odum H.T.** Energy Cost Benefit Approach to Evaluating Power Plant Alternatives. Tallahassee (FL): Center for Wetlands Univ. of Florida, 1975. 8 p.
20. **Odum H.T.** Energy Basis for Florida Trends in Florida. Hollywood (FL.): Bicentennial Commemorative Book, 1975. 11 p.
21. **Odum H.T., Fontaine T. III.** Energy Analysis and Environmental Health. Minneapolis (MN): Environmental Health Conference, 1976. 12 p.

22. **Odum H.T., Odum E.C.** Energy Basis for Man and Nature. N. Y.: McGraw-Hill, 1976. 297 p. (Second Edition, 1981. 336 p.; перевод на японский язык [1978], испанский язык [1981], русский язык [Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М.: Прогресс, 1978. 380 с.]).

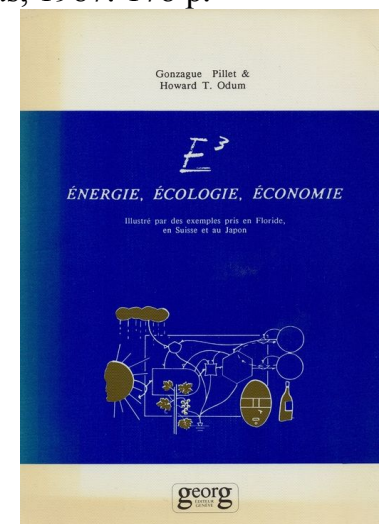


23. **Wang F.C., Odum H.T., Costanza R.** Concepts for Assessment of Energy Related Impacts of Water. Preprint 3246. Pittsburgh (PA): Amer. Soc. of Civil Engineers. Spring Convention and Exhibit, 1978. 24 p.
24. **Odum H.T., Alexander J.F., Wang F.C. et al.** Energy Basis for the United States. Contract EY-76-S-05-4398. Washington (DC): Report to Dept. of Energy, 1979. 444 p.
25. **Odum H.T., Kylstra C., Brown S. et al.** Energy Transformation and the Economy of the United States. Preprint 70803. Baton Rouge (LA): Marine Sci. Distinguished Lecture Series, Louisiana State Univ. Center for Wetland Resources, 1980. 49 p.
26. **Odum H.T., Kangas P., Best G.R., et al.** Studies on Phosphate Mining, Reclamation, and Energy. Orlando (FL): Report to Bromwell Assoc., 1981. 142 p.
27. **Odum E.C., Odum H.T., Brown M.T., Scott G.** Energy and Environment in Florida. Gainesville (FL): Univ. Florida Press, 1982. 200 p.
28. **Odum E.C., Scott G., Odum H.T.** Energy and Environment in New Zealand. Christchurch (New Zealand): Joint Centre for Environmental Sci., Univ. of Canterbury, 1982. 129 p.
29. **Odum H.T.** Systems Ecology: An Introduction. N. Y.: McGraw-Hill, 1983. 644 p. (перевод на индонезийский язык [1992], китайский язык [1993], корейский язык [2000]).



30. **Odum H.T., Knox G.A., Campbell D.E.** Organization of a New Ecosystem, Exotic *Spartina* Salt Marsh in New Zealand. Washington (DC): Report to NSF Internat. Exchange Program with New Zealand: Changes in Estuarine Ecosystems in Interaction with Development, 1983. 106 p.
31. **Odum H.T., Lavine M.J., Wang F.C. et al.** A Manual for Using Energy Analysis for Plant Sitting with an Appendix on Energy Analysis of Environmental Values. Final Report to the Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-2443 FINB-6155. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida; Energy Analysis Workshop, 1983. 221 p.

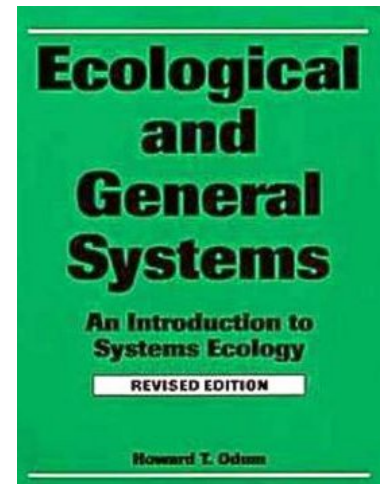
32. **Odum H.T., Miller M.A., Rushton B.T. et al.** Interaction of Wetlands with the Phosphate Industry. FIPR Publ. No. 03-007-025. No. NTIS PB85-234094/AS. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida; Florida Inst. Phosphate Res., 1983. 164 p.
33. **Brown M.T., Odum H.T.** Studies of a Method of Wetland Reconstruction Following Phosphate Mining. FIPR Publ. No. 03-022-032. No. NTIS PB87-173175/XAB. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida; Florida Inst. Phosphate Res., 1985. 76 p. (<http://ufdc.ufl.edu/UF00016640/00001/1j>).
34. **Odum H.T.** Self Organization of Ecosystems in Marine Ponds Receiving Treated Sewage. Chapel Hill (NC): UNC Sea Grant No. SG-85-04, 1985. 250 p.
35. **Odum H.T., Brown M.T., Christianson R.A.** Energy Systems Overview of the Amazon Basin. Report to the Cousteau Society. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1986. 190 p.
36. **Odum H.T., Odum E.C., Brown M.T. et al.** Florida Systems and Environment. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1986. 83 p.
37. **Odum H.T., Diamond C., Brown M.T.** Energy Systems Overview of the Mississippi River Basin. Report to the Cousteau Society. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1987. 107 p.
38. **Odum H.T., Lavine M.J., Wang F.C. et al.** Energy Analysis of Environmental Value. A Manual for Using Energy Analysis for Plant Siting with an Appendix on Energy Analysis of Environmental Values. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida; Energy Analysis Workshop, 1987. 97 p. (Revised supplement from final report to the Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-2443 FINB-6155; cm. [Odum H.T., Lavine M.J., Wang F.C. et al., 1983]).
39. **Odum H.T., Odum E.C., Blissett M.** Ecology and Economy: "Emergy" Analysis and Public Policy in Texas. Policy Research Project Report No. 78. Austin (TX): Lyndon B. Johnson School of Public Affairs, Univ. of Texas, 1987. 178 p.
40. **Pillet G., Odum H.T.** E^3 : Energie, Écologie, Économie. Geneva (Switzerland): Georg Editeur, 1987. 257 p.



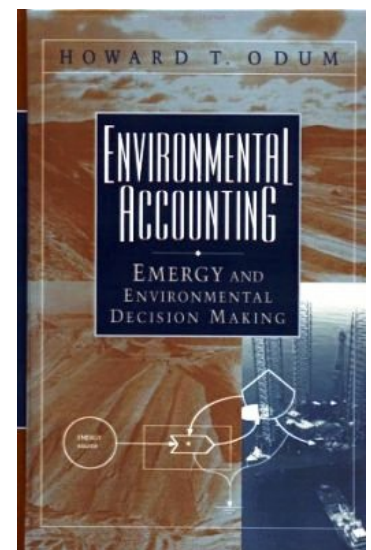
41. **Best G.R., Wallace P.M., Dunn W.J., Odum H.T.** Enhance Ecological Succession Following Phosphate Mining. FIPR Publ. No. 03-048-54. Bartow (FL): Florida Inst. for Phosphate Res., 1988. 160 p.
42. **Odum H.T.** Living with Complexity. The Crafoord Prize in the Biosciences, 1987, Lectures. Stockholm (Sweden): Royal Swedish Acad. Sci., 1988. 87 p.

43. **Odum H.T., Odum E.C., Brown M.T. et al.** Environmental Systems and Public Policy. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1988. 237 p. (перевод на бразильский португальский и испанский языки [1998]).
44. **Odum H.T., Odum E.C., Brown M.T. et al.** Energy, Environment and Public Policy: A Guide to the Analysis of Systems. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 95. Nairobi (Kenya): United States Environment Programme, 1988. 109 p. (перевод на китайский язык [1992]).
45. **Odum H.T., Best G.R., Miller M.A. et al.** Accelerating Natural Processes for Wetlands Restoration after Phosphate Mining. FIPR Publ. No. 03-041-086. NTIS No. PB92-176189. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida; Florida Inst. Phosphate Res., 1990. 408 p.
46. **Brown M.T., Tennenbaum S., Odum H.T.** Emergy Analysis and Policy Perspectives of the Sea of Cortez, Mexico. Report to the Cousteau Society. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1991. 58 p.
47. **Odum H.T., Arding J.E.** EMERGY Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. Narragansett: Univ. of Rhode Island, 1991. 114 p. (Working Paper Prepared for the Coastal Resources Center).
48. **Odum H.T., Odum E.C.** Computer Minimodels and Simulation Exercises for Science and Social Science. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1991. 321 p.
49. **Odum H.T., Rushton B.T., Paulic M. et al.** Evaluation of Alternatives for Restoration of Soil and Vegetation on Phosphate Clay Settling Ponds. FIPR No. 86-03-076R. Bartow (FL): Florida Inst. for Phosphate Res., 1991. 184 p.
50. **Sundberg U., Odum H.T., Doherty S.J.** 18th Century Charcoal Production. Garpenberg (Sweden): Swedish Univ. of Ag. Sci. Res. Notes No.212, 1991. 12 p.
51. **Brown M.T., Woithe R.D., Montague C.L., Odum H.T., Odum E.C.** EMERGY Analysis Perspectives of the Exxon Valdez Oil Spill in Prince William Sound, Alaska. Report to The Cousteau Society, under contract CFWWR Publ. No. 93-01. Gainesville (FL): Univ. of Florida, 1993. 114 p.
52. **Odum H.T., Odum E.C.** Environmental Decision Making. Macintosh Simulation Software Published in CD-ROM, The BioQuest Library. College Park (MD): Academic Software Development Group, 1993.
53. **Beyers R.J., Odum H.T.** Ecological Microcosms. N. Y.: Springer-Verlag, 1993. 557 p. (Ser.: Springer Advanced Texts in Life Sciences).
54. **Doherty S.J., Brown M.T., Murphy R.C., Odum H.T., Smith G.A.** Emergy Synthesis Perspectives, Sustainable Development, and Public Policy Options for Papua New Guinea. Final Report to the Cousteau Society. No. 93-06. Gainesville (FL): Center for Wetlands, Univ. of Florida, 1993. 144 p.
55. **Doherty S.J., Nilsson P.O., Odum H.T.** Emergy Analysis of Forest Production and Industries in Sweden. Garpenberg (Sweden): Final Report to Vattenflal (Swedish Energy Board) and the Royal Acad. of Agricultural Sci.; Swedish Univ. of Agricultural Sci., 1993. 107 p.

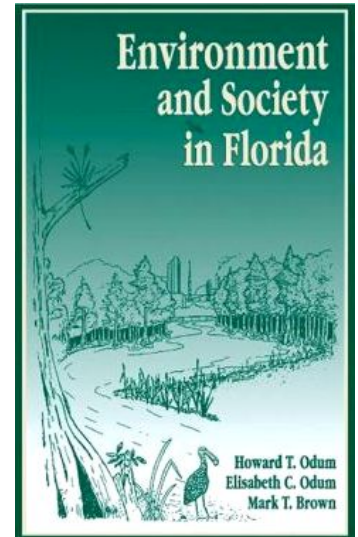
56. **Odum H.T.** Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology. Boulder (CO): Univ. Press of Colorado, 1994. 644 p. (Revised edition of: Systems Ecology, John Wiley, 1983, 644 p.).



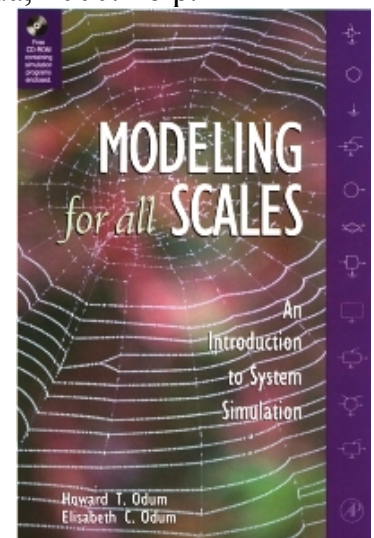
57. **Odum H.T., Odum E.C.** Environmental Minimodels & Simulation Exercises. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Environmental Engineering Sciences Univ. of Florida, 1994. 87 p.
58. **Sundberg U., Lindegren J., Odum H.T., Doherty S.** Skogens Anvandning och Roll under det Svenska Stormaktsvaldet: Perspektiv pa Energi och Makt. Stockholm (Sweden): Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, 1994. 67 p.
59. **Sundberg U., Lindegren J., Odum H.T., Doherty S.** Forest EMERGY Basis for Swedish Power in the 17th Century. Stockholm (Sweden): Scandinavian Univ. Press, 1994. 50 p. (Supplement No. 1 [1994] to the Scandinavian Journal of Forest Research).
60. **Engel V.C., Montague C.L., Odum H.T.** Emergy Evaluation of Environmental Alternatives in Martin County. Final Report to Martin County Commission. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Department of Environmental Engineering Sciences Univ. of Florida, 1995. 62 p.
61. **Maochao Y., Odum H.T.** An Emergy Evaluation of Tibet: Eco-economic Evolution, Sustainable Development and Public Policy Options for Tibet of China. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy, 1996. 27 p.
62. **Maochao Y., Odum H.T.** An Emergy Evaluation of the Seven Years' Development of Qingyanzhou Ecological Experimental Station. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy, 1996. 27 p.
63. **Odum H.T.** Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. N. Y.: John Wiley, 1996. 370 p.



64. **Huang S.L., Odum H.T.** Ecological Energetic Evolution of Urban System. Taipei (Taiwan, R.O.C. [Republic of China]): Chiang Ching-Kuo International Scholar Exchange Foundation, 1996. 327 p.
65. **Odum H.T., Brown M.T.** Evaluating Alternatives for Buckeye Wastewater. Report submitted for public hearings. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 1997. 6 p.
66. **Odum H.T., Odum E.C., Brown M.T.** Environment and Society in Florida. Boca Raton (FL): St. Lucie Press, 1998. 449 p.



67. **Odum H.T., Romitelli M.S., Tighe R.** Evaluation Overview of the Cache River and Black Swamp in Arkansas. Final Report on Contract No. DACW39-94-K-0300 between Waterways Experiment Station, U.S. Dept. of the Army, Vicksburg, Miss. and Univ. of Florida. Gainesville (FL): Univ. of Florida Press, 1998. 128 p.
68. **Odum H.T., Odum E.C.** EARTHSYS, A Minimodel of Earth Metabolic Processes. Included in the CD-ROM: BioQUEST Library V. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy, 1998. 25 p.
69. **Odum H.T.** Material Circulation, Energy Hierarchy and Building Construction. Gainesville (FL): Rinker Workshop. Univ. of Florida Press, 1999. 60 p.
70. **Odum H.T., Brown M.T., Brandt-Williams S.B.** Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 1 – Introduction and Global Budget. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Environmental Engineering Sciences Univ. of Florida, 2000. 16 p.
71. **Odum H.T., Odum E.C.** Modeling for All Scales, an Introduction to System Simulation. San Diego (CA): Acad. Press, 2000. 458 p. (with computer simulation disk).



72. **Odum H.T.** Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 – Emergy of Global Processes.

- Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Environmental Engineering Sciences Univ. of Florida, 2000. 30 p.
73. **Odum H.T.** Emergy-Emdollar Evaluation and the Everglades. Miami (FL): North American Lake Management Conference, 2000. 15 p.
74. **Odum H.T., Odum E.C.** The Prosperous Way Down: Principles and Policies. Boulder (CO): Univ. Press of Colorado, 2001. 375 p. (перевод на китайский язык [2002]; new edition – July 31, 2008).
-
75. **McLachlan-Karr J., Odum H.T.** Evaluation of Ecotourism and Resources Use in Cuba. Gainesville (FL): Univ. of Florida Press, 2001. 63 p. (Working Paper IW 01-23. International Agricultural Trade and Development Center).
76. **Scatena F.N., Doherty S.J., Odum H.T., Kharecha P.** An Emergy Evaluation of Puerto Rico and the Luquillo Experimental Forest. Rio Piedras (Puerto Rico), International Institute of Tropical Forestry, 2002. 79 p. (General Technical Report IITF-GTR-9. U.S. Dept. of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry).
77. **Doherty S.J., Nilsson P.O., Odum H.T.** Emergy Evaluation of Forest Production and Industries in Sweden. Report No. 1. Uppsala (Sweden): Department of Bioenergy, Swedish Univ. of Agricultural Sci., 2002. 16 p.
78. **Odum H.T., Kurtz T.E., Odum E.C., Lutz J.A.** Programs for Simulation in True BASIC (CD). Hartford (VT): True BASIC, Inc., 2002. 24 p.
79. **Odum H.T.** Environment, Power, and Society for the Twenty-first Century: The Hierarchy of Energy. N. Y.: Columbia Univ. Press, 2007. 432 p.

О популярности работ Г. Одума свидетельствует и такой факт. Сегодня, «с лёгкой руки» Министерства образования и науки РФ, всю отечественную науку «меряют» разного рода индексами (SCI, H-index, РИНЦ-индекс и др.). Так вот, Говард, наверняка, хорошо смотрелся бы на нашем фоне. Так, на 1990 г., т. е. почти 25 лет тому назад [http://www.kharms.biology.lsu.edu/BenBranoff_Re_HTOdum.pptx], цитируемость только трех основных книг Одума (см. выше № 63, 10 и 29) равнялась 4175; индекс Хирша (H-index) – 57; сегодня эти показатели еще более впечатляющие.

10 августа 2002 г. от сердечного приступа во время работы в своем любимом саду умирает брат Юджин. На 18 сентября были назначены мемориальные чтения, и Говард готовился выступить на них. Но, 11 сентября

2002 г. в возрасте 78 лет он умирает... Месяц сентябрь и здесь остался для Одумов «знаковым»... Последняя совместная статья братьев Одумов вышла в 2000 г. [Н.Т. Odum, Е.Р. Odum, 2000]; она касалась проблем энергетического обоснования экосистемных услуг – направления, которое активно развивает Р. Костанца [Costanza et al., 1997; Costanza, 2008; А. Розенберг, 2011a], также ученик Говарда Одума.

Несколько слов о научных достижениях Говарда Т. Одума

Аналоговое экологическое моделирование

Еще в своей PhD-диссертации Г. Одум проводил аналогию между экосистемой и тепловой машиной [Н.Т. Odum, 1950, p. 10]. Именно электрические сети стали для Одума аналогом потоков энергии в экосистемах. Доцент Университета в Мэриленде Патрик Кэнгас⁷ [Kangas, 2004a, p. 101] отмечает, что «в 1950-х и 1960-х годах Г.Т. Одум использовал в качестве моделей экологических систем простые электрические сети, которые состояли из батарейки, проводов, резисторов и конденсаторов. Эти цепи можно назвать *пассивными аналогами*, чтобы отличить их от *оперативных аналоговых схем* компьютера, который моделирует значительно более сложные системы». Эти пассивные аналоговые модели (основанные, фактически, на законе Ома) признаются [Systems Ecology., 1979] одним из ранних конструктивных подходов в рамках системной экологии. П. Кэнгас так завершает статью: «Хотя Одум в значительной степени отказался от аналогового моделирования после 1960-х годов, использование пассивных аналогов было постоянным вдохновением для его мышления и интерес к этому подходу он поддерживал путем новых разработок в различных формах искусственных экосистем» [Kangas, 2004, p. 105].

Принцип максимизации энергии

Этот принцип, известный еще как *принцип Лотки – Одума – Пинкертонна* [Реймерс, 1990], состоит в следующем: в «соперничестве» с другими экологическими объектами выживают (сохраняются) те из них, которые наилучшим образом способствуют поступлению энергии и используют максимальное её количество наиболее эффективным способом. «С этой целью система:

- создает накопители (хранилища) высококачественной энергии;
- затрачивает [определенное количество] накопленной энергии на обеспечение поступления новой энергии;
- обеспечивает кругооборот различных веществ;

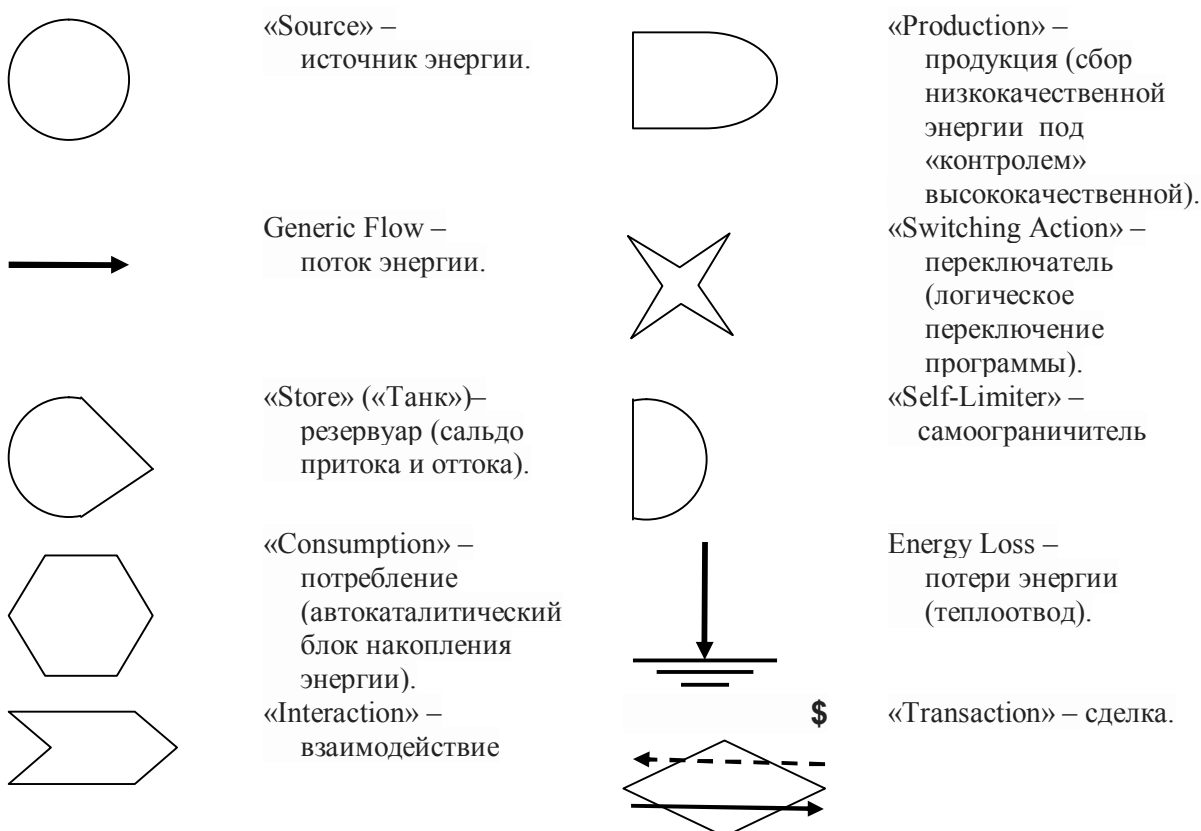
⁷ Ученик Г.Т. Одума, ставший инициатором присвоения в 2002 г. его имени теплице в «марсианском эксперименте» в шт. Юта («Н.Т. Odum greenhouse»; см. выше).

- создает механизмы регулирования, поддерживающие устойчивость системы и её способность приспособления к изменяющимся условиям;
- налаживает с другими системами обмен, необходимый для обеспечения потребности в энергии специальных видов» [Г. Одум, Ю. Одум, 1978, с. 72-73].

Замечу, что этот принцип справедлив и в отношении информации, а вот максимальное поступление вещества как такового не гарантирует успеха экологическому объекту в конкурентной борьбе с другими аналогичными объектами.

Energese: специализированный язык для моделирования энергетических потоков в экосистемах

В середине 1950-х годов и в ходе исследования тропических лесов в 1960-х годах (работая в ядерном центре Университета в Пуэрто-Рико), Говард Одум разработал (в дальнейшем, совершенствовал) специальный язык символов для описания диаграмм потоков энергии (своего рода, блок-схем имитационного моделирования; об этом языке немного говорится и в переведенной выше статье Одума [H.T. Odum, 1973]).





Изображенные слева пиктографические значки, Одум назвал «модулями Бераланфи – Bertalanffy module» в честь одного из отцов-основателей общей теории систем (системологии). Этот язык, во многом, также является проявлением «аналогового мышления» Одума и, как подчеркивает Р. Китчинг [Kitching, 1983, р. 25], отражает подход инженера-электрика к решению системных (экосистемных) проблем. Примеры использования языка Emergese – многочисленны и их можно, к слову, также найти в переведенной выше статье.

На фотографии слева можно видеть, как лихо «расправляется» с этим языком на одной из конференций его автор.

Emergy

В начале 1950-х годов, Г. Одум исследует потоки энергии в различных экосистемах (например, Silver Springs во Флориде, атолл Eniwetok в южной части Тихого океана, Galveston Bay в Мексиканском заливе [штат Техас], тропические леса в Пуэрто-Рико и др.), где энергия была «представлена» различными формами (солнечная энергия, энергия ветра, течений, ископаемого топлива и пр.). Он пришел к пониманию того, что когда два или более источника различной энергии воздействуют на систему, их нельзя анализировать без соответствующих преобразований, без приведения «к общему знаменателю». Отсюда возникло понятие «энергии одного рода» (energy of one kind) и представления об «энергетических затратах» (energy cost), как общего энергетического знаменателя [H.T. Odum, 1967]. Подчеркну, это не единицы измерения энергии (они могут быть одинаковыми – кВт/час, калории, BTU [см. п. 14 в переведенной выше статье Г. Одума] и пр.), а качество энергии. Иными словами, способность совершать полезную для человека работу зависит *и от количества, и от качества энергии*. Показатель качества – количество единиц солнечной энергии, которое должно быть рассеяно, чтобы получить единицу энергии в новой форме, доступной для передачи на более высокие трофические уровни. Впервые о качестве энергии и её оценке Г. Одум говорил во Франции в 1975 г. при получении премии France's L'Institut de la Vie [H.T. Odum, 1976].

В первой половине XX века существовали представления о «*воплощенной энергии – embodied energy*» (приятно осознавать, что к внедрению этих представлений приложили руку отечественные ученые – физик С.А. Подолинской [1850-1891], эколог В.В. Станчинский [1882-1942], экономист, нобелевский лауреат В.В. Леонтьев [1905-1999]). Воплощенная энергия является суммой всех видов энергий, необходимых для производства лю-

бых товаров или услуг. Например, Г. Трелор с соавторами [Treloar et al., 2004] подсчитали среднюю воплощенную энергию в автомобиле в Австралии ($0,27$ тераджоуля = $0,27 \cdot 10^{12}$ Дж), как одного из компонентов в общем анализе энергии, участвующей в автомобильных перевозках. Эти воззрения активно использовались до середины 80-х годов прошлого столетия. Однако, со временем, представления о воплощенной энергии стали ассоциироваться только с качеством энергии ископаемого топлива, что заставили вводить «*воплощенные солнечные калории – embodied solar calories*» и разного рода «*коэффициенты трансформации – transformation ratios*».

В 1986 г. австралийский математик и физик-ядерщик Д. Сайнсмэн [David M. ScienceMan] предложил отказаться от понятия «embodied energy» и заменить его понятием «*овеществленная энергия – emergy*». Эмергия – универсальная мера необходимых природных ресурсов, мера затраченной для получения того или иного продукта солнечной энергии («мера реального богатства»); единицей эмергии является emjoule (если солнечная эмергия является базовой, то результаты оцениваются в солнечных emjoules [сокращенно SEJ]). Для полного вычисления эмергии системы строится системная диаграмма (с модулями Берталанфи; главное условие построения диаграмм – они должны включать все источники, вносящие вклад в вычисление эмергии), потоки которой используются для построения *таблицы эмергии*.

Представления об «эмергии» вызвали к жизни даже поэтические строки (не самый «фонтан», но все-таки...).

Мартин Часослов

[<http://www.stihi.ru/2007/01/29-1376>]

Эмергия

Эмергия рентгеновских лучей
Нас поражала прямо в позвоночник.
Приём, приём! Бессилие врачей,
Нам позволяло землю обесточить.
 На фабрике "Нейтронная заря"
 Учёные корпели над прибором.
 Алё, алё, безумные друзья!
 Эмергия не будет вам укором.
На бензовозе старые следы –
Остались от протекшего бензина
Тыдыщ, бабах, эмергия воды
И запах свежесобранной малины.
 Лимона дольки плавали в чаю.
 Эмергия стакана шоколада
 Лилась, лилась и стыла на краю
 Воронки от вечернего снаряда.
2007 г.

В рамках энергетической теории стоимости Одума, кроме эмергии, большое значение играет и *эксергия (exergy)* – максимальная работа, которую

можно извлечь из системы, когда она идет к термодинамическому равновесию (эксергией иногда называется работоспособность системы [Энергия и эксергия..., 1968]). Понятие эксергии полезно как общая мера качества и количества ресурса, оно приложимо и к веществу, и к энергии. Эмергия – мощный инструмент для определения потоков энергии через биологические системы. Это работа, которую биосфера должна выполнять для поддержания системы вдали от равновесия.

Вклад Говарда Одума в развитие методологии и методов эмергитического анализа трудно переоценить (только среди перечисленных выше монографий см.: [39, 46, 47, 51, 54, 55, 59-63, 70, 72, 73, 76, 77]).

Экологический инжиниринг

В любом диссертационном совете всегда найдется человек, который задаст вопрос: «А в чем, собственно, практическая значимость вашей работы?..». Говард Одум на такой вопрос ответил бы легко. Во-первых, именно он в 1963 г. предложил само понятие «*экологический инжиниринг* – *ecological engineering*» [H.T. Odum et al., 1963], определившее новое направление исследований на границе экологии и инженерии, связанное с планированием (конструированием), мониторингом и созданием экосистем с заданными свойствами. Во-вторых, большая часть из 84 контрактов и грантов, которые за свою жизнь выполнил Говард, – это исследования с «практическим выходом» и рекомендациями. В-третьих, одним из его аспирантов был У. Митч (William J. Mitsch), который в 1992 г. стал учредителем и главным редактором (по сегодняшний день) журнала «*Ecological Engineering (The Journal of Ecosystem Restoration)*» (Impact Factor [2012]: 2,958)⁸, Одум был членом редколлегии, а в 1994 г. стал почетным редактором этого журнала; кстати, Митч стал соавтором первых монографий-учебников по инженерной экологии [Mitsch, Jørgensen, 1989, 2004]. Наконец, одна из последних статей Г. Одума [H.T. Odum, B. Odum, 2003], в которой дана его оценка состояния теории и методов экологической инженерии, была опубликована через год после его смерти как раз на страницах журнала «*Ecological Engineering*».



Уильям Митч
(г. р. 1947)

⁸ У нас в стране журнал «Инженерная экология» был зарегистрирован также в 1992 г., но регулярно стал издаваться с 1995 г.; председатель редакционного совета, академик Н.П. Лавёров.

Общая теория систем

Г. Одум в качестве системолога воспринимается как «технократический оптимист» [Taylor, 1988; Lugo, 1995], что связывают [Hagen, 1992, p. 135] с влиянием идей отца, который и социологию «сводил» к различным физическим законам: «Энергетические законы лежат в основе принципов политической науки, так как они являются главнейшими принципами всех процессов на Земле». Профессор Radford University в штате Вирджиния Дж. Хаген замечает, что на диаграммах Одума имеются петли обратных связей, что роднит их и с кибернетическими подходами. Более того, в его работах можно найти то, что называется «амбициозной и характерной попыткой создания универсальной науки о системах» [Hagen, 1992, p. 131].

С современных позиций, такой подход к системологии (науке о сложных системах) выглядит упрощенным и даже неверным. Энергетика является *простым свойством* сложных систем [Розенберг и др., 1999; Розенберг, 2013]; этот параметр аддитивен, свидетельством чему и является закон Ома. А вот *сложные свойства* сложных систем (например, устойчивость) – не аддитивны и именно они и представляют наибольший интерес для системологии. Если различать классическую физику, кибернетику и системологию, то первые две науки изучают простые свойства простых и сложных систем (подробный анализ «взаимодействия» этих наук выполнен мной в серии статей [Розенберг, 2011а,б, 2012]).

Однако, несомненно, образ мышления Одума был системный, целостный. Он даже использовал термин «макроскоп – macroscope» для обозначения целостных представлений; но не отрицал он и редукцию, активно используя в экспериментальной работе «микроскопы – microcosms» (от пластиковых бутылок до супермасштабного эксперимента Biosphere 2 [Marino, Odum, 1999]) и принцип иерархической организации экосистем (см. выше монографии 69 и 79).

Экологическая экономика

Экология (*ойкос* – дом, *логия* – наука) – наука о доме; экономика (*ойкос* – тот же дом, *номос* – правило ведения хозяйства) – наука о ведении этого дома. Очень близкие, по существу, понятия, которые, конечно, не противоречат, а только дополняют друг друга. Экологическая экономика сегодня стала актуальным научным направлением, с ежегодными международными конференциями, обществами и журналами. Но почти 50 лет тому назад именно Говард Одум, работая директором Морского института при университете в Техасе, стал одним из первых ученых, кто и сам занялся, и финансировал исследования в области использования традиционных экономических подходов для количественной (денежной) оценки рекреационных, бальнеологических ресурсов и других целей. П. Кэнгас (Kangas, 2004b, p. 179-180) отмечает: «Одум был вовлечен, в большей или меньшей степени, в первые расчеты стоимости экосистемных услуг в 1958 году!.. Он разделил добываемое ископаемое топливо на валовой национальный продукт (в масштабе всей страны), чтобы оценить соотношение 10 000 кал/\$. Путем такого деления он определил то, что называл "значением жизнеобеспечения – *life support value*"... Много интересных эколого-экономических работ выросло из вычисления одумовских "значений жизнеобеспечения",... как, до некоторой степени, и само понятие экосистемных услуг, так популярное сегодня среди экологических экономистов». А еще на 10 лет раньше, Ч. Холл [Hall, 1995b, p. 159]

подчеркивал, что через интеграцию системы «экология – энергия – экономика» Одум пришел к пониманию того, что экономику следует оценивать в таких более объективных терминах, как «энергия», а не в субъективных денежно-финансовых показателях («готовности платить – *willingness to pay*»). С начала издания в 1989 г. журнала «Ecological Economics» (Impact Factor [2011]: 2,713) Г. Одум был членом его редколлегии.

Здесь мы вновь сталкиваемся с проблемой: «в каких попугаях измерять сложные свойства сложных систем?» [Розенберг, 2002]. Например, лес (10 деревьев) можно «посчитать» в рублях (долларах) – сколько табуреток можно из них сделать и продать... Аддитивная характеристика. Можно «посчитать» лес в «энергии» – затраты энергии на рост, дыхание деревьев и пр. Тоже аддитивный показатель⁹. Можно «посчитать» лес в «устойчивостях» (не очень понятно, что это такое, но очевидно, что устойчивость леса из 10 деревьев не будет равна сумме устойчивостей каждого дерева). Неаддитивная характеристика, сложный параметр, сложной системы. Именно такого рода параметры, как уже отмечалось, и представляют наибольший интерес при описании сложных систем. В любом случае, уход от характеристики сложной системы «в деньгах» к её характеристике «в энергиях», – это движение в правильном направлении.

Развитие идей Говарда Т. Одума

Как видно из предыдущего анализа основных научных достижений Г.Т. Одума, он оставил своим ученикам и последователям огромное поле деятельности; естественно, в этом кратком обзоре обозначу лишь основные, с моей точки зрения, пути развития его идей и представлений.

Аналоговое экологическое моделирование. Это один из важнейших видов моделирования, основанный на аналогии (изоморфизме) явлений, имеющих различную физическую природу, но описываемых одинаковыми математическими (чаще всего, дифференциальными, алгебраическими или какими-либо другими) уравнениями. В настоящее время значение аналогового моделирования значительно уменьшилось, поскольку моделирование на ЭВМ имеет большие преимущества перед ним в отношении точности моделирования и универсальности. Но на новом витке «диалектического штопора» моделирование на ЭВМ приобретает черты аналогового (генетический алгоритм селекции информативных признаков, эволюционное моделирова-

⁹ Закон сохранения вещества и энергии (М.В. Ломоносов, 1748 г.). В письме к академику Л. Эйлеру, а затем в статье «Рассуждение о твердости и жидкости тел» [Ломоносов, 1760, § 4, с. 5 (A2)] он писал: «Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько присовокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материй, то умножится в другом месте; сколько часов положит кто на бдение, столько от сну отнимет. Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения: ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает».

ние, нейросетевое моделирование и пр. [Шитиков и др., 2005, т. 2, с. 242-280]).

Принцип максимизации энергии. Приведу достаточно обширную цитату, которая демонстрирует работоспособность этого важного экологического принципа [Г. Одум, Э. Одум, 1978, с. 72-73]:

«Ферма, на которой урожай убирают в самый лучший по метеорологическим условиям (дождь, солнце) период, применяют лучшие удобрения, ускоряющие рост злаков, и выращивают те культуры, которые пользуются наибольшим спросом, обеспечивает достаточный доход для того, чтобы фермер хорошо жил и мог из года в год возобновлять сельскохозяйственное производство. Система хозяйствования, принятая удачливым фермером, закрепится и станет образцом для подражания. В результате закрепятся (выживут) те фермы, на которых система хозяйствования обеспечивает максимизацию энергетических потоков. Данный принцип известен как *принцип конкурентной борьбы* между коммерческими предприятиями. Из двух фирм, изготавливающих автомобильные шины, уцелеет та, что производит шины лучшего качества и по меньшей цене: у неё будут более высокие цифры сбыта и на полученный доход она сумеет приобрести больше дополнительной энергии. Бизнесмен, успешно ведущий свои дела, максимизирует приток энергии и изготавливает больше продукции. *Принцип максимизации энергии* регулирует также жизнь леса. В любом лесу выживают деревья тех видов, которые наилучшим образом используют солнечную энергию, энергию дождя и питательных веществ почвы; тем самым они наилучшим образом поддерживают жизнедеятельность леса в целом. Остальные виды и сочетания видов вымирают. Принцип максимизации энергии можно выразить также следующим образом: в соперничестве между собой выживают те системы, которые наилучшим образом способствуют как поступлению энергии, так и её использованию для нужд системы. С этой целью система:

- создаёт накопители (хранилища) высококачественной энергии;
- затрачивает часть накопленной энергии на обеспечение поступления новой энергии;
- обеспечивает кругооборот различных веществ;
- создаёт механизмы регулирования, поддерживающие устойчивость системы и её способность приспособления к изменяющимся условиям;
- налаживает с другими системами обмен, необходимый для обеспечения потребностей в энергии специальных видов».

Преобладающая современная парадигма сельского хозяйства утверждает, что «технология адекватна всякий раз, когда приращение входного сигнала приводит к увеличению выходного». Эта точка зрения, обычно, приводит к упрощенной сельскохозяйственной системе и утрате биоразнообразия в сельском пространстве. Выход основного продукта может быть больше, но система имеет огромный рост внутренних потерь и влечет дополнительные расходы в других, обслуживающих системах. На приведенной выше схеме [Ortega, Miller, 2001] с учетом принципа максимизации энергии и на языке

программирования Energese представлена новая система, в которой учтена овеществленная энергия, что позволило более адекватно оценить чистую прибыль производства соевых бобов в США и Европе (она оказалась меньше на 45%, чем рассчитываемая по традиционной [упрощенной] схеме).

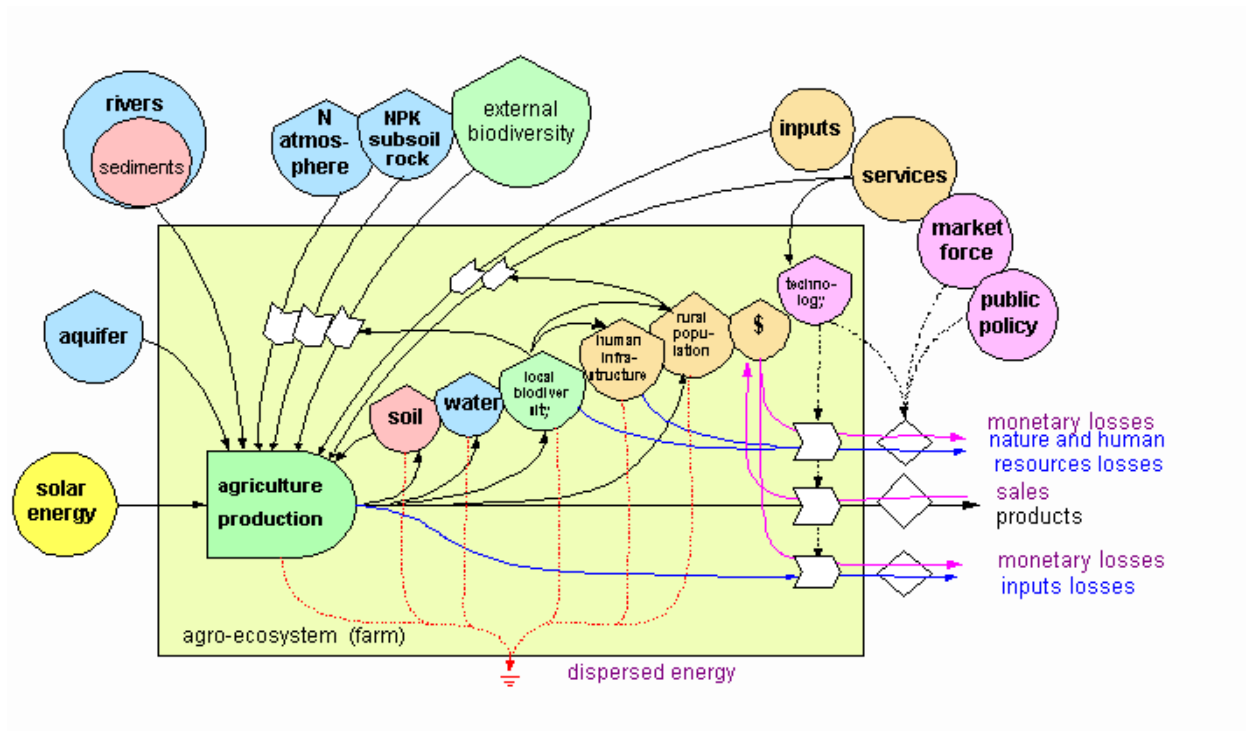
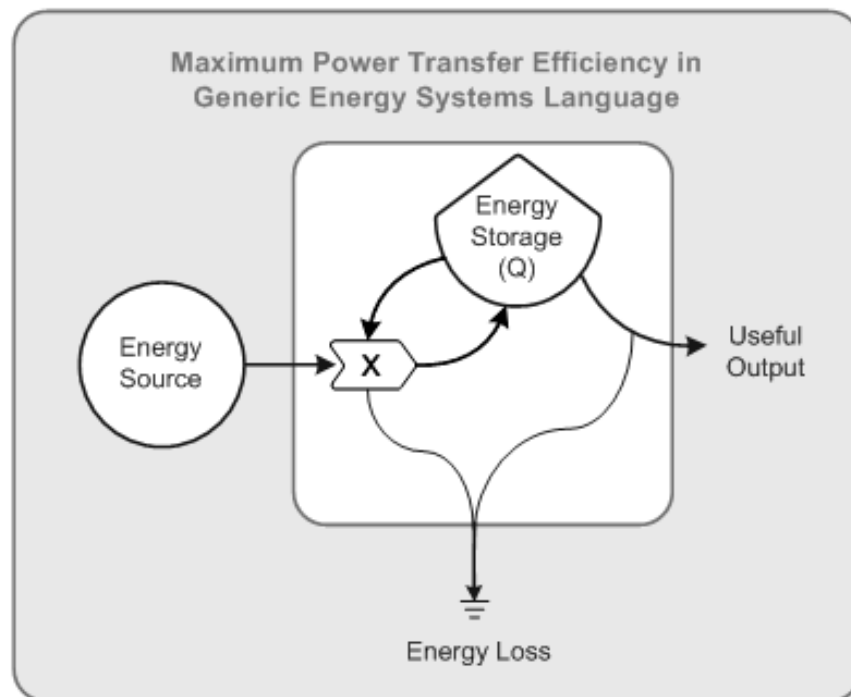


Схема фермерской агроэкосистемы (поток энергии) на языке Energese [Ortega, Miller, 2001].



Принцип максимизации энергии на языке Energese.
<http://www.cs.toronto.edu/~sme/DGC2003H/HowardThomasOdum.pdf>.

Сравнивая три варианта управления продуктивностью посевов соевых бобов (химические и органические удобрения, гербициды), авторы приходят к выводу о том, что по показателю овеществленной энергии должна «победить» органическая альтернатива; но при современных ценах на нефть («богатый», но невозобновляемый источник энергии) экономически выгодным оказывается использование гербицидов. Таким образом, государственная политика (через налоговую систему) должна учитывать отдаленные экологические последствия (в первую очередь, потерю биоразнообразия) и стимулировать агроэкологические проекты в соответствии с их социальной и экологической выгодой.

Наконец, приведу простую схему, демонстрирующую и сам принцип максимизации энергии.

Energese: специализированный язык для моделирования энергетических потоков в экосистемах. Системному языку программирования Energese, созданному Одумом, повезло больше. Его активно используют в своих исследованиях сотрудники Центра ветландов (CFW в Университете штата Флорида) и Центра экологической политики (CEP там же).

Следует особо подчеркнуть роль дочери Говарда – Мари Логан, PhD по здравоохранению (1998 г.), адъюнкт-профессор University of Alaska и сотрудник Консорциума здоровья коренных племен Аляски (Анкоридж [Anchorage]) – в сохранении и приумножении его научного наследия: она активно ведет сайт «Prosperous Way Down» [<http://prosperouswaydown.com/contact-and-information/>], который возник после 7th Biennial Energy Research Conference (Gainesville, Florida, 12-14 января 2012 г.) и названием которого стала книга Говарда и Элизабет Одумов «Благополучным образом вниз»¹⁰ (см. выше № 74). Она с детства «варилась» во взаимосвязи «трех Э (Е)»: «В 1960-х годах я слушала за обеденным столом лекции в отношении энергетических и экологических проблем, свидетелями которых мы являемся. Мой отец был бы шокирован тем, что сегодня правительства бегут от битуминозных песков и сланцевого газа, как спасательной стратегии; в 1970-х годах он прогнал от себя эти иллюзии. Получая прибыль (это – плюс), мы отказываемся считать чистую энергию (это – минус); идет сжигание ископаемого топлива, разрушаются бореальные экосистемы, нарушаются системы дренажа водоносных горизонтов и увеличивает глобальное потепление. **Мой отец никогда не ве-**



Mary Odum – Logan

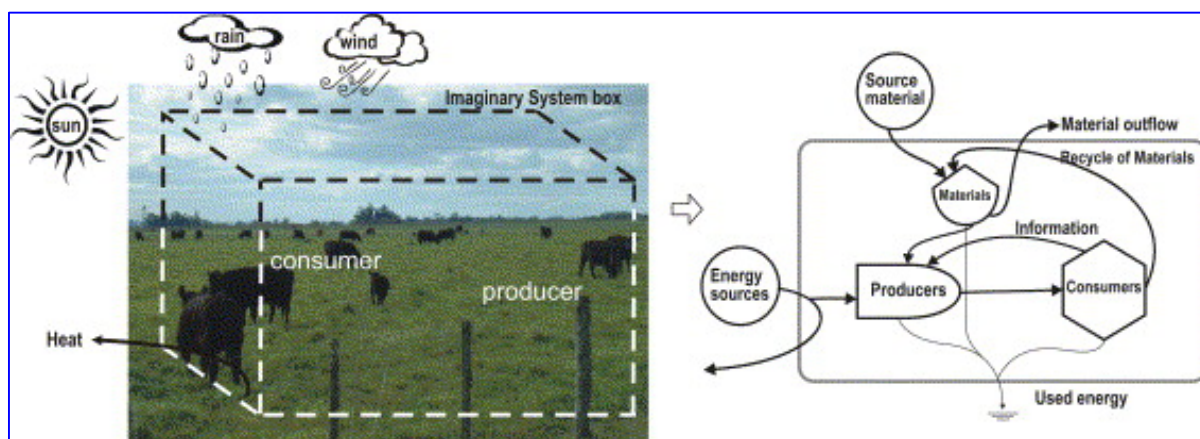
¹⁰ «Благополучным образом вниз» – вместо экспоненциального роста населения с последующим истощением ресурсов и резким экспоненциальным падением, человечество может ожидать в ближайшее время постепенный спад и снижение численности населения и его потребления, что, возможно, предотвратит прогнозируемую катастрофу.

рил, что мы так глупы»
 [http://www.cs.toronto.edu/~sme/DGC2003H/HowardThomasOdum.pdf].



Рисунок из оформления сайта «Prosperous Way Down».

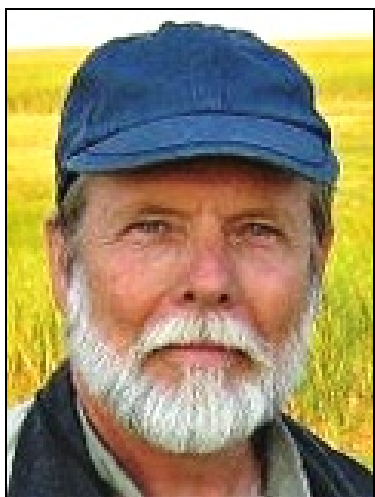
Почти в каждом посте М. Логан (см., например, посты из блога «Prosperous Way Down»: <http://prosperouswaydown.com/category/authors/logan-posts/>) присутствуют диаграммы на языке Emergese, либо оригинальные, либо дублирующие схемы из статей или постов учеников и последователей Г. Одума. Например, такая элементарная диаграмма, описывающая процессы в экосистеме:



Отечественные исследователи также используют эмергетический анализ систем Г. Одума с привлечением языка *Energese*. Так, например, М.М. Иванова [2002] оценивает стоимость товаров и услуг экосистем и экологического воздействия человеческой деятельности не в традиционной единой шкале цен, а по «мере реального богатства», оценив потоки и накопление эмергии. Еще можно сослаться на брошюру Г.А. Булаткина [1983], на статьи Е.А. Денисенко [2000] и Ж.С. Мустафаева с соавторами [2013; правда, это представители Казахстана] и на обзор О.В. Фельдмана с соавторами [1998].

От языка *Energese* весьма логичным представляется переход к «овеществленной энергии – *emergy*».

Emergy. Предложивший этот термин Д. Сайнсмэн [Scienceman, 1987; Scienceman et al., 1998], описывает овеществленную энергию (*emergy*), как «энергию памяти». В каком-то смысле, это и хороший образ, – память о Г. Одуме воплотилась в исследованиях его учеников.



Марк Браун (Mark T. Brown)

Заменивший Одум на постах директора Центра ветландов и директора Центра экологической политики, М. Браун, является постоянным редактором (соредактором) серии изданий трудов конференций по теории и практике *emergy*-методологии, библиографическое описание которых приведено ниже:

1. *Emergy Synthesis 1: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 1st Biennial Emergy Conference* / Ed. by M.T. Brown. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2001. 319 p.
2. **Giannantoni C.** *The Maximum Empower Principle as the Basis for Thermodynamics of Quality.* Moncalieri (Italy): Servizi Grafici Editoriali, 2002. 185 p.
3. *Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 2nd Biennial Emergy Conference* / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2003. 432 p.
4. *Through the Macroscopic: A Tribute to H.T. Odum* / Ed. by M.T. Brown and C.A.S. Hall // *Ecological Modeling (Special Issue)*. 2004. V. 178, No. 1-2. P. 1-294.
5. *Emergy Synthesis 3: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 3rd Biennial Emergy Conference* / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2005. 652 p.
6. *Emergy Synthesis 4: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 4th Biennial Emergy Conference* / Ed. by M.T. Brown

et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2007. 483 p.

7. Emergy Synthesis 5: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 5th Biennial Emergy Conference / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2009. 612 p.

8. Emergy Synthesis 6: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 6th Biennial Emergy Conference / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2011. 610 p.

9. Emergy Synthesis 7: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 7th Biennial Emergy Conference / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2013. 586 p.

Легко подсчитать, что труды семи прошедших конференций дают объем 3694 стр. Так, например, только в «Emergy Synthesis 6» в 51 статье было задействовано 98 авторов, представлявших более 20 стран мира из Азии, Австралии, Европы, Северной и Южной Америки. А всего в семи выпусках «Emergy Synthesis» опубликовано 310 статей. Это ли не лучшее свидетельство того, что «идеи Одума живут и побеждают!».

Обсуждать эти три сотни статей – совершенно нет необходимости; каждый желающий может с ними познакомиться в открытом доступе на сайте «Emergy Synthesis» [http://www.cer.ees.ufl.edu/emergy/conferences/ERC01_1999/proceedings.shtml]. Обращу внимание коллег только на две статьи Д. Сайнсмэна, затрагивающих с использованием языка Emergese и эмерджентного анализа столь далекие от экологии (но присущие системологии в целом) проблемы психоанализа и энергии человеческих отношений и культуры З. Фрейда [Scienceman, Ledoux, 2001] и поддержки религиозных верований как «овеществленной энергии» [Scienceman, Collins, 2013].

Экологический инжиниринг. В полном соответствии с мнением известного американского специалиста по исследованию операций Р. Акоффа (Russell Lincoln Ackoff, 1919-2009), – «мы должны отказаться от мысли, будто природа разделена на факультеты подобно университетам. Разделение труда по дисциплинам перестало быть эффективным» [Акофф, 1971, с. 70] – и если взять за основу тот факт, что «инженерная экология» является частью собственно «экологии», то **за этим направлением следует закрепить тот раздел экологии, где основные объекты – экосистемы – изучаются методологическими средствами, развитыми в рамках технических наук и системного подхода, и где разрабатываются методы и оборудование для реабилитации и управления структурой и динамикой социо-эколого-экономических систем разного масштаба.** При этом можно выделить сле-

дующие основные направления исследований в рамках инженерной экологии [Розенберг, 1986, 2000, 2005]:

- мониторинг окружающей природной среды (создание *системы экологического мониторинга* – наблюдений и экспериментов, ориентированных на оценку и прогноз состояния окружающей природной среды, находящейся под антропогенным воздействием);
- экологическое прогнозирование (при решении задач экологического прогнозирования необходимо уделять внимание трем основным аспектам: *целям прогнозирования, разработке прогнозирующих моделей и проблеме оценки достоверности прогнозов*);
- экологическая оптимизация (отмечу одно сравнительно новое и перспективное в экологических исследованиях оптимизационное направление – *построение потенциально-эффективных моделей* [Флейшман, 1986; Розенберг, 2013]);
- конструирование экосистем с заданными свойствами (современные экологические представления [конкуренция видов, разные типы их эколого-ценотических стратегий, процессы плотной упаковки видов в экологических нишах, поддержание устойчивости и высокого разнообразия и пр.] и представления Г. Одума о системной экологии должны стать основой конструирования экосистем с заданными свойствами [Н.Т. Odum, В. Odum, 2003; Mitsch, 2003]).

Еще раз подчеркну методологическую взаимосвязь и конструктивный характер основных направлений и принципов экологического инжиниринга, как «символический путь от технологического проектирования к экологическому дизайну» [Н.Т. Odum, В. Odum, 2003, р. 339]. *Мониторинг* выступает в качестве поставщика информации для экологического прогнозирования, *экологическое прогнозирование* позволяет провести *оптимизацию* условий функционирования экосистем (в более общем плане – социо-эколого-экономических систем), что, в свою очередь, обеспечивает *конструирование экосистем с заданными свойствами*. В настоящее время совокупность построенных и реализованных на ЭВМ моделей, действующих ГИС, сервисных программ и другого обеспечения (свое заметное место в этом списке занимают и конструктивные энергетические представления Г. Одума) – огромно, создает хорошее поле деятельности и может трактоваться как вариант реализации принципов экологического инжиниринга на пути к достижению устойчивого развития.

Общая теория систем. Системный подход в экологии также развивается очень активно (особенно его конструктивная составляющая). Его видение Г. Одумом представляет сегодня, в большей степени, исторический интерес (см., например, [Розенберг, 2011а,б, 2012, 2013]).

Экологическая экономика. Традиционная экономика способна лишить человечество среды обитания, биоразнообразия, природных ресурсов. Экономика устойчивого развития, во многом индуцированная работами Г. Одума, пытается дать ответ на важнейшие вопросы, на которые не отвеча-

ет традиционная экономика: какова реальная цена, которую платит человечество, увеличивая потребительские блага, чем измерить качество экономического роста, как соизмерить развитие экономики с возможностями природных систем.



**Татьяна Акимовна
Акимова (Моисеенкова,
г. р. 1939)**



**Роберт Костанца
(Robert Costanza,
г. р. 1950)**

Нельзя сказать, что в нашей стране вопросы *экологической экономики* или *экономической экологии* [Розенберг, 1994] не привлекали внимание исследователей. Однако ближе всего к эколого-энергетически-экономическому видению проблем в системе «Человек – Природа» подошла Т.А. Акимова (Моисеенкова) [Моисеенкова, 1989; Акимова, Хаскин, 1998; Акимова, Моисейкин, 2009; Акимова, 2012]. Следует назвать и все нарастающий вал публикаций по оценкам экосистемных услуг и природного капитала, во главе с лидером этого направления Р. Костанцей – профессором Crawford School of Public Policy при Australian National University, а также университетов в Портленде (Portland [OR]), Вермонте (Burlington [VT]), Мэриленде (College Park, MD) и Луизиане (Baton Rouge [LA]). У нас в стране это направление связано с именами С.Н. Бобылева [2004; Бобылев, Захаров, 2009, 2014], А.А. Тишкова [2004, 2010] и ряда других исследователей [Бартанова, 2007; Михаленко, 2008; Харин, 2010; A. Rozenberg, 2010; А. Розенберг, 2011а,б; Пузаченко и др., URL; и др.].

Обсуждая проблемы экологической экономики, нельзя не пройти мимо замечательной работы Л. Брауна «Эко-Экономика. Построение экономики для Земли» [Brown, 2001; Браун, 2002]. Книга состоит из «Введения» и трех частей, которые объединяют 12 глав. Причем, первая глава «Экономика Земли» находится вне этой трех частной структуры и является, фактически, развитием «Введения», в котором Браун на трех страницах описывает историю возникновения замысла этой книги и побудительные мотивы ее написания. А сама первая глава начинается с 1543 года, когда была опубликована книга Николая Коперника; именно с его революционной теорией проводит аналогию Браун, сравнивая переход от точки зрения «экономистов» (Природа – объект экономики, Земля – центр Вселенной) к «гелиоцентрическим» представлениям «экологистов», которые рассматривают природопользование как составную часть естественнонаучных законов самой Природы. Именно эта «главная посылка» Брауна и объясняет название монографии: *эко-экономика* понимается им как *природоустойчивая экономика* (environmentally sustainable economy).

Не буду останавливаться на разборе всей книги (см. рецензию [Розенберг, 2001]), но прокомментирую пятую главу «Построение солнечно-водородной экономики», которая начинается с описания 20-летнего плана экономии энергии в США, принятого «под фанфары» [Brown, 2001, p. 97-112] в мае 2001 г. Белым домом и который, по мнению Брауна, встретит большие сложности по мере выполнения. Эта негативная оценка основана на недоучете альтернативных источников энергии, в то время как по данным Американской ассоциации ветровой энергии за последние 20 лет мощность используемых ветровых установок выросла не менее, чем в 15 раз и лидируют Германия, США и Испания; при этом средняя стоимость за киловатт/час ветровой энергии сократилась почти в 10 раз (до 4,5 центов). Еще более весомо выглядят данные по использованию солнечной энергии, мощность установок которых за те же 20 последние лет выросла более, чем в 25 раз, энергетика геотермальных вод – в 4 раза. И все это – на фоне стабилизации добычи угля и значительно меньшей скорости роста добычи нефти и газа (в 1,5-2 раза). Все эта статистика делает аргументацию Брауна о необходимости перехода на альтернативные источники энергии очень убедительной с позиций традиционной экономики, но с учетом овеществленной энергии (emergy) по-Одуму она уже не кажется таковой. Может быть, именно по этому сегодня в США принимается новый «план Обамы – Байдена [Barack Hussein Obama II – Joseph Robinette Biden, Jr.]», в рамках которого планируется инвестировать \$150 млрд. в течение 10 лет для продвижения следующего поколения биотоплива, модернизации энергетической инфраструктуры, развития возобновляемых источников энергии в промышленных масштабах, перехода к новой системе передачи, распределения и экономии электроэнергии; планируется также инвестировать в подготовку высококвалифицированных производственных кадров и создание производственных центров, чтобы обеспечить первую волну «зелёных» технологий, которые, как предполагают в Белом доме, будут востребованы во всем мире. Планы – благие. Но предупреждения и опасения Говарда Т. Одума в них не услышаны...

Чуть более подробно остановлюсь на оценках экосистемных услуг и природного капитала, у основ которых стоял Г. Одум и которые можно дополнить, опираясь на результаты его коллег.

Экосистемные услуги – это все те выгоды, которые человечество получает от экосистем. Иными словами, это услуги экосистем по обеспечению человечества природными ресурсами, здоровой средой обитания, иными экологически и экономически значимыми «продуктами». Среди многочисленных экосистемных услуг выделяют: *снабжающие* (пища, вода, лес, сырье), *регулирующие* (воздействие на климат, контроль над наводнениями, стихийными бедствиями, качество водных ресурсов и пр.), *культурные* (рекреационные ресурсы, эстетические и духовные ценности природы) и *поддерживающие услуги* (почвообразование, фотосинтез, круговорот азота и пр.). Не для каждой из выше перечисленных экосистемных услуг можно создать адекватный рынок. Многочисленные исследования показали, что в настоящее

время есть 4 категории экосистемных услуг, для которых реально использование компенсационных платежей и создание рынков. Это услуги по обеспечению пресной водой должного качества, поглощению углерода, сохранению биоразнообразия и эстетических свойств ландшафтов. Эти четыре «продукта» (каждый включает в себя целый перечень услуг) сегодня обладают сравнительно просто подсчитываемой экономической ценностью, которую можно «продать», если грамотно «прорекламировать».

Но вот в работе Э. Одум [E.C. Odum, 2004], есть несколько таблиц, которые я объединил и свел одну (см. табл.).

Таблица

Различные варианты оценки emergy для некоторых стран мира

Страна	Использование Emergy, 10^{22} SEJ / год	Население, млн. чел.	Использование Emergy / чел., 10^{15} SEJ / год	Валовой экономический продукт, 10^9 \$ / год	Использование Emergy / Doll, 10^{12} SEJ / \$
США	1150,0	280,0	41,1	9940,0	1,16
Китай	917,0	1284,3	7,1	979,9	9,35
Россия	703,0	145,0	48,4	1200,0	5,90
Япония	360,0	127,0	28,4	4500,0	0,80
Велико- британия	287,0	58,8	48,7	1390,0	2,06
Бразилия	277,0	161,0	17,2	58,0	4,80
Канада	268,0	30,5	87,0	599,0	4,50
Индия	266,0	1029,0	9,5	442,0	6,03
Германия	153,0	83,0	18,4	209,0	0,73
Франция	144,0	59,8	24,1	1400,0	1,03
Австралия	138,0	19,4	71,0	340,0	4,05
Италия	126,5	57,5	22,0		
Индонезия	125,0	230,0	5,4	145,0	8,60
Южная Африка	73,9	43,2	17,1		
Мексика	61,4	76,8	8,0	186,1	3,30
Саудовская Аравия	55,8	22,0	25,4	241,0	2,30
Аргентина	45,2	35,1	12,9	297,7	1,52
Чили	28,0	14,8	18,9	54,9	5,10
Швейцария	25,4	7,2	35,5	270,0	0,95
Дания	17,8			123,0	1,45
Португалия	17,6	10,5	16,8	91,5	1,90
Парагвай	4,8	5,2	9,3	6,3	7,68
Уругвай	3,1	3,2	9,6	12,2	2,52
Боливия	1,9	7,8	2,5	6,4	3,03
Сумма	5 248,9	3 791,1	Сред. = 25,4	22 492	Сред. = 3,58

Величина используемой овеществленной энергии (emergy) зависит от возобновляемых энергетических источников (солнечная энергия, дожди, размер страны и пр.) и невозобновляемых (ископаемое топливо, минералы и пр.). Во второй колонке этой таблицы приведены оценки emergy в SEJ

(солнечных *emjoules*) для 24 стран (54% площади и 60% численности населения). Приведу следующие выкладки.

1 кВт/час = $3,6 \cdot 10^6$ дж (час);

1 кВт/сут = $86,4 \cdot 10^6$ дж (сут.);

1 кВт/год = $22118,4 \cdot 10^6$ дж = $2211,84 \cdot 10^7$ дж (год);

$2,0 \cdot 10^5$ SEJ/дж – соотношение «солнечного» и «электрического джоуля»

[E.C. Odum, 2004];

$5248,9 \cdot 10^{22}$ SEJ/год / $2,0 \cdot 10^5$ SEJ/дж = $2624,45 \cdot 10^{17}$ дж (год);

1 кВт/час = €0,06 или \$0,1;

1 кВт/год = \$850;

$2624,45 \cdot 10^{17}$ дж (год) / $2211,84 \cdot 10^7$ дж = $1,19 \cdot 10^{10}$ кВт/год;

$1,19 \cdot 10^{10}$ кВт/год * \$850 $\approx$ $\$10 \cdot 10^{12}$;

$\$10 \cdot 10^{12}$ – это, примерно, 50-60% от общей стоимости использованной *emergy*

24 странами;

Тогда, $\$(20 \div 22) \cdot 10^{12}$ – стоимость использованной *emergy* (в «электрических джоулях»).

Таким образом, при весьма разумных ограничениях получена нижняя оценка использованной *emergy* странами планеты Земля – $\$(20 \div 22) \cdot 10^{12}$, которая вполне сопоставима с общей стоимостью экосистемных услуг биосферы в целом – $\$(16 \div 54) \cdot 10^{12}$ или в среднем $\$33 \cdot 10^{12}$ в год [Costanza et al., 1997]. Следовательно, *emergy* может выступать в качестве оценки экосистемных услуг.

Заключение

Еще один из учеников и аспирантов Говарда Т. Одума, также ставший почетным профессором Университета во Флориде, Дж. Юэл (John [Jack] Ewel, г. р. 1941) так начинает свою статью, посвященную памяти Учителя [Ewel, 2003, p. 13]: «Atmosphere, Benthos, Canopy, Diversity, Emergy with an "m": этот экологический список может быть продолжен через весь алфавит и все равно не исчерпает широты около 300 публикаций Томаса Говарда Одума за годы его научного творчества». И это действительно так. Но современному поколению экологов он, прежде всего, известен как один из первых естествоиспытателей, который вплотную занялся решением важнейшей мировой проблемы – взаимосвязи «трех Э (Е)» – энергетики (*energy*), экологии (*ecology*) и экономики (*economy*) и добился на этом пути заметных результатов.

В чем-то, Одум был впереди своего времени – целостное восприятие экосистем, биоразнообразие, чистая энергия (сегодня говорят о «зелёной» энергетике), экологический инжиниринг, энергия ископаемого топлива как движущий фактор международных отношений, экологизация и устойчивое со-

стояние экономики, адаптивное управление природопользованием... Все это и многое другое нашло свое понимание и место в социо-эколого-экономических отношениях в новом тысячелетии. «Г.Т. Одум изменил мировоззрение многих людей, включая сотни экологов. Как счастлив бы он был, если бы мы вняли его оптимистичному предостережению: следовать "благополучным образом вниз"» [Ewel, 2003, p. 15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимова Т.А. Норматив предельно допустимой энергетической нагрузки как инструмент устойчивого развития территории // Экономика природопользования (ВИНИТИ РАН). 2012. № 5. С. 45-50. – **Акимова Т.А., Мосейкин Ю.Н.** Экономика устойчивого развития: учеб. пособие. М.: Экономика, 2009. 430 с. – **Акимова Т.А., Хаскин В.В.** Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: учебник для студентов вузов. (2-е изд. 2002. 566 с. 3-е изд. 2007. 495 с. 4-е изд. 2011. 495 с.). М.: Юнити-Дана, 1998. 455 с. – **Акоф Р.** О природе систем // Изв. АН СССР. Техн. киберн. 1971. № 3. С. 68-75.

Бартанова В.О. Анализ рынка экологических товаров и услуг Байкальской природной территории // Региональная экономика: теория и практика. 2007. № 18 (57). С. 91-96. – **Бобылев С.Н.** Экосистемные услуги и эколого-экономический механизм их компенсации регионам // Аграрная Россия. 2004. № 4. С. 36-40. – **Бобылев С.Н., Захаров В.М.** Экосистемные услуги и экономика. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. 72 с. – **Бобылев С.Н., Захаров В.М.** Экология и экономика: «зелёная» экономика и экосистемные услуги // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2014. Спецвып. С. 15-24. – **Браун Л.** Эко-экономика. Создание экономики для нашей планеты. М.: Весь мир, 2002. 340 с. – **Булаткин Г.А.** Энергетическая эффективность применения удобрений в агроценозах. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1983. 46 с.

Денисенко Е.А. Энергетическая оценка производства озимой пшеницы на территории России // Изв. РАН. Сер. географ. 2000. № 6. С. 66-72.

Иванова М.М. Энергетический анализ экосистем как один из аспектов их многокритериальной оценки // Проблемы устойчивого развития: иллюзии, реальность, прогноз: Материалы VI Всероссийского научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе». Томск: ТГУ, 2002. С. 143-147. [<http://www.lpur.tsu.ru/Seminar/a0102/025.htm>].

Ломоносов М.В. Рассуждение о твердости и жидкости тел ради торжественного праздника тезоименитства Ее Величества всепресветлейшие державнейшие великие Государыни Императрицы Елисаветы Петровны самодержицы всероссийские в публичном собрании Императорской Академии наук Сентября 6 дня 1760 года, читанное господином коллежским Советником и Профессором и Королевской шведской Академии наук членом Михайлом Ломоносовым. СПб.: Имп. Акад. наук, 1760. 21 с. [<http://books.e-heritage.ru/book/10070297>].

Михаленко П.В. Экономический компенсационный механизм экосистемных услуг: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2008. 23 с. – **Моисеев Т.А.** Эколого-экономическая сбалансированность промышленных узлов. Саратов: Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1989. 216 с. – **Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Ибраимова А.К.** Энергетические методы в оценке производства эффективности сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях. URL. 2013. [http://www.rusnauka.com/33_DWS_2013/Agricole/3_146020.doc.htm].

Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М., Прогресс, 1978. 380 с.

Пузаченко Ю.Г., Пузаченко М.Ю., Котлов И.П. и др. Экосистемные услуги – современные технологии. URL. [http://www.sevin.ru/ecosys_services/].

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с. – **Розенберг А.Г.** Комментарий к статье Роберта Костанцы с соавторами («Nature», 1997) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011а. Т. 20, № 1. С. 184-193. – **Розенберг А.Г.** Оценка экосистемных услуг для территории Волжского бассейна (первое приближение) // Экологический сборник 3: Труды молодых ученых Поволжья. Тольятти: Кассандра, 2011б. С. 206-210. – **Розенберг Г.С.** Инженерная экология – основа разработки комплексных экологических программ // Оптимизация, прогноз и охрана природной среды. М.: Наука, 1986. С. 378-380. – **Розенберг Г.С.** Экологическая экономика и экономическая экология: состояние и перспективы (с примерами по экологии Волжского бассейна) // Экология. 1994. № 5. С. 3-13. – **Розенберг Г.С.** Основные задачи инженерной экологии (точка зрения биолога) // Вестн. МАНЭБ. 2000. № 1 (25). С. 7-9. – **Розенберг Г.С.** [Рецензия] // Самарская Лука: Бюл. 2004. № 14. С. 342-349. Рец. на кн.: Lester R. Brown. Eco-Economy. Building an Economy for the Earth. New York; London: W.W. Norton & Co., 2001. 333 p. – **Розенберг Г.С.** Параметры сбалансированного развития территорий, или «в каких популяциях измерять устойчивое развитие» // Экологическая политика и устойчивое развитие регионов России. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Пенза: МАНЭБ, 2002. С. 26-28. – **Розенберг Г.С.** Инженерная экология при решении проблем безопасности жизнедеятельности (точка зрения биолога) // Изв. СамНЦ РАН. Спец. вып. "ELPIT-2005". 2005. Т. 1. С. 103-108. – **Розенберг Г.С.** Экология и физика: параллели или сети? (в продолжение дискуссии) // Биосфера. 2011а. Т. 3, № 3. С. 296-303. – **Розенберг Г.С.** Экология и кибернетика: по следам Маргалефа // Биосфера. 2011б. Т. 3, № 4. С. 445-454. – **Розенберг Г.С.** Экология и системология: синтез теории // Биосфера. 2012. Т. 4, № 1. С. 1-7. – **Розенберг Г.С.** Введение в теоретическую экологию / В 2-х т.; Изд. 2-е, исправленное и дополненное. Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 1. 565 с.; Т. 2. 445 с. – **Розенберг Г.С., Кудинова Г.Э.** На пути к «зелёной» экономике (знакомаясь с докладом ЮНЕП к «Рио + 20») // Биосфера. 2012. Т. 4, № 3. С. 245-250. – **Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б.** Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. Самара: СНЦ РАН, 1999. 396 с.

Тишков А.А. «Экосистемные услуги» природных регионов России. М.: Наука, 2004. 156 с. – **Тишков А.А.** Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16, № 41. С. 5-15.

Фельдман О.В., Денисенко Е.А., Логофет Д.О. Энергетический подход при оценке эффективности использования ресурсов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ, 1998. С. 66-81. – **Флейшман Б.С.** Системология, системотехника и инженерная экология // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука. 1986. С. 97-110.

Харин А.Г. Оценка ценности рекреационных ресурсов Куршской косы: сравнительный анализ методов стоимостной оценки // Балтийский эконом. журн. 2010. № 2. С. 59-70.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х кн. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.; Кн. 2. 337 с.

Энергия и эксергия / Под ред. В.М. Бродянского. М.: Мир, 1968. 192 с.

A Tropical Rain Forest / Ed. by H.T. Odum and R.F. Pigeon. Springfield (Virginia): Division of Technical Information; U. S. Atomic Energy Commission, 1970. 1600 p.

Barile P.J. Comments on «Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll» [Ecological Monographs 25 (3) (1955) 291-320] // Ecol. Modelling. 2004. V. 178. P. 51-57. – **Brown L.R.** Eco-Economy. Building an Economy for the Earth. N. Y.; London: W.W. Norton & Co., 2001. 333 p.

Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed // Biol. Conservation. 2008. V. 141. P. 350-352. – **Costanza R., d'Arge R., de Groot R. et al.** The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. V. 387. P. 253-260. (перевод

на рус. язык: Костанца Р. и др. Стоимость мировых экосистемных услуг и природного капитала // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20, № 1. С. 165-183).

Ewel J.J. Resolution of Respect: Howard Thomas Odum (1924–2002) // *Bull. Ecol. Society America*. 2003. V. 84. P. 13-15.

Hagen J.B. An Entangled Bank: The Origins of Ecosystem Ecology. New Brunswick (Canada): Rutgers Univ. Press, 1992. 262 p. – **Hall C.A.S.** Introduction: What is maximum power? // *Maximum Power: The Ideas and Applications of H.T. Odum* / Ed. by C.A.S. Hall. Niwot (CO): Colorado Univ. Press, 1995a. P. I-XVI. – **Hall C.A.S.** What Is Ecological Economics? // *Maximum Power: The Ideas and Applications of H.T. Odum* / Ed. by C.A.S. Hall. Niwot (CO): Colorado Univ. Press, 1995b. P. 159-163.

Kangas P. The role of passive electrical analogs in H.T. Odum's systems thinking // *Ecol. Modelling*. 2004a. V. 178, No. 1-2. P. 101-106. [http://www.bio.unibuc.ro/old/~dmihailescu/cursuri_bologie_2/CursXII/art1.pdf]. – **Kangas P.** Ecological economics began on the Texas bays during the 1950s // *Ecological Modelling*. 2004b. V. 178, No. 1-2. P. 179-181. – **Kitching R.L.** Systems Ecology: An Introduction to Ecological Modelling. Brisbane (Australia): Univ. Queensland Press. 1983. 280 p.

Lugo A.E. A review of Dr. Howard T. Odum's early publications: From bird migration studies to Scott Nixon's turtle crass model // *Maximum Power: The Ideas and applications of H.T. Odum* / Ed. by C.A.S. Hall. Niwot (CO): Colorado Univ. Press, 1995. P. 3-10.

Marino B.D.V., Odum H.T. Biosphere 2, Introduction and research progress // *Ecological Engineering*. 1999. V. 13. P. 3-14. [<http://www.amazonpire.org/PDF/workshop0309/research/Marino.pdf>]. – *Maximum Power: The Ideas and Applications of H.T. Odum* / Ed. by C.A.S. Hall. Niwot (CO): Colorado Univ. Press, 1995. 393 p. – **Mitsch W.J.** Ecology, ecological engineering, and the Odum brothers // *Ecological Engineering*. 2003. V. 20, No. 5. P. 331-338. – **Mitsch W.J., Jørgensen S.E.** Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology. N. Y.: John Wiley & Sons, 1989. 472 p. – **Mitsch W.J., Jørgensen S.E.** Ecological Engineering and Ecosystem Restoration. N. Y.: John Wiley & Sons, 2004. 472 p.

Odum E.C. H.T. Odum as a husband and colleague // *Maximum Power: The Ideas and applications of H.T. Odum* / Ed. by C.A.S. Hall. Colorado: Univ. Press, 1995. P. 360-361. –

Odum E.C. A prosperous way down // *Proceedings of IV Biennial International Workshop «Advances in Energy Studies»* / Ed. by E. Ortega, S. Ulgiati. Campinas (SP, Brazil): UNICAMP Press, 2004. P. 1-10. [<http://www.unicamp.br/fea/ortega/energy/B.Odum.pdf>];

[http://www.unicamp.br/fea/ortega/ISAER/](http://www.unicamp.br/fea/ortega/ISAER/BettyOdumText.pdf)

[BettyOdumText.pdf](#)]. – **Odum E.P.** Fundamentals of Ecology. Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1953. XII+384 p. (Одум Е. Экология. М.: Просвещение, 1968. 168 с. [перевод со второго издания 1959 г.]). – **Odum E.P., Odum H.T.** Zonation of corals on Japan Reef, Eniwetok Atoll // *Atoll. Res. Bull.* 1957. V. 52. P. 1-4. – **Odum H.T.** A Course in Tropical Sounding Analysis. Howard Field, Canal Zone: AAAF Tropical Weather School, 1945. 75 p. – **Odum H.T.** Field notes and news // *The Chat*, *Bull. North Carolina Bird Club*. 1946. V. X, No. 5. P. 90. –

Odum H.T. The possible effect of cloud cover on bird migration in Central America // *Auk*. 1947. V. 64, No. 2. P. 316-317. – **Odum H.T.** The Biogeochemistry of Strontium: With Discussion on the Ecological Integration of Elements, A Dissertation presented to the Faculty of the Graduate School of Yale University in Candidacy for the Degree of Doctor of Philosophy, 1950. – **Odum H.T.** Primary production in flowing waters // *Limnol. and Oceanogr.* 1956. V. 1. P. 102-117. – **Odum H.T.** Energetics of food production // *The World Food Problem. Report of the President's Science Advisory Committee, Panel on World Food Supply*, V. 3. Washington (DC): White House, 1967. P. 55-94. – **Odum H.T.** Energy, ecology and economy // *AMBIO*. 1973. No. 6. P. 220-227. – **Odum H.T.** Energy quality and carrying capacity of the earth. Response at Prize Ceremony, Institute de la Vie, Paris // *Tropical Ecology*. 1976. V. 16, No. 1.

P. 1-8. – **Odum H.T.** Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology. Colorado: Univ. Press, 1994. 644 p. – **Odum H.T., Lackey J.B., Hynes J., Marshall N.** Some red tide characteristics during 1952-1954 // Bull. Mar. Sci. Gulf and Caribbean. 1955. V. 5. P. 247-248. – **Odum H.T., Odum B.(E.C.)** Concepts and methods in ecological engineering // Ecological Engineering. 2003. V. 20, No. 5. P. 339-361. – **Odum H.T., Odum E.C.** Modeling for All Scales, an Introduction to System Simulation. San Diego (CA): Acad. Press, 2000. 458 p. (with computer simulation disk). – **Odum H.T., Odum E.C., Brown M.T.** Environment and Society in Florida. Boca Raton (FL): St. Lucie Press, 1998. 449 p. – **Odum H.T., Odum E.P.** Trophic structure and productivity of a windward coral reef at Eniwetok Atoll, Marshall Islands // Ecol. Monogr. 1955. V. 25. P. 291-320. – **Odum H.T., Odum E.P.** The energetic basis for valuation of ecosystem services // Ecosystems. 2000. V. 3, No. 1. P. 21-23. – **Odum H.T., Pinkerton R.C.** Time's speed regulator, the optimum efficiency for maximum output in physical and biological systems // American Scientist. 1955. V. 43. P. 331-343. – **Odum H.T., Siler W.L., Beyers R.J., Armstrong N.** Experiments with engineering of marine ecosystems // Publication of the Institute of Marine Science of the University of Texas. V. 9. Austin: University of Texas, 1963. P. 374-403. – **Odum H.W.** Race and Rumors of Race: The American South in the Early Forties. Chapel Hill: Univ. of North Carolina Press, 1943. 245 p. – **Odum W.E., Odum E.P., Odum H.T.** Nature's pulsing paradigm // Estuaries. 1995. V. 18, No. 4. P. 547-555. – **Ortega E., Miller M.** Comparison of ecological and agro-chemical soybean cultivars using emergy analysis. Hypothesis and first results // 2nd International Workshop Advances in energy studies: exploring supplies, constraints, and strategies: Porto Venere, Italy, May 23-27 2000. Padova (Italy): SGE, 2001. P. 525-534. [<http://www.unicamp.br/fea/ortega/italia/soybean-comparison.htm>].

Pinkerton R. Information theory and melody // Scientific American. 1956. V. 194, No. 2. P. 77-86.

Rozenberg A.G. Ecosystem services and natural capital of the Volga river basin // Types of Strategy and Not Only... (Materials of the Fourth Russian-Polish School of Young Ecologists; Togliatti, September, 6-12th, 2010) / Editor-in-chief G.S. Rozenberg. Togliatti: Kassandra, 2010. P. 46-47.

Scienceman D. Energy and emergy // Environmental Economics / Ed. by G. Pillet and T. Murota. Geneva (Switzerland): Roland Leimgruber, 1987. P. 257-276. – **Scienceman D.M., Collins D.** Religion-science amalgam (reliscience) // Emergy Synthesis 7: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 7th Biennial Emergy Conference / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2013. P. 67-78. – **Scienceman D.M., Ledoux F.** Sublimation // Emergy Synthesis 1: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 1th Biennial Emergy Conference / Ed. by M.T. Brown et al. Gainesville (FL): Center for Environmental Policy; Univ. of Florida, 2013. P. 317-321. – **Scienceman D., Odum H.T., Brown M.T.** Letters to the Editor // Ecological Engineering. 1998. V. 9. P. 212-218. – **Studies of Marine** Estuarine Ecosystems Developing with Treated Sewage Wastes / Ed. by H.T. Odum and A.F. Chestnut // Annual Report to National Science Foundation, Sea Grant Division. 1971. 363 p. – **Systems Ecology** / Ed. by H.H. Shugart, R.V. O'Neill. Benchmark Papers in Ecology. V. 9. Stroudsburg (PA): Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1979. p.

Taylor P.J. Technocratic optimism, H.T. Odum and the partial transformation of ecological metaphor after World War 2 // J. History of Biol. 1988. V. 21. P. 213-244. – **Treloar G.J., Love P.E.D., Crawford R.H.** Hybrid life-cycle inventory for road construction and use // J. Construction Engineering and Management. 2004. V. 130, No. 1. P. 43-49.

Wetlands Use Manual / Ed. by C. Wharton & H.T. Odum. Tallahassee (FL): Report to Division of State Planning, 1976. 380 p.