

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

Авторы публикуемой ниже статьи рассказывают о важнейших заблуждениях в современной климатологии и экологии и о приоритетах в решении природоохранных проблем.

В ПОВЕСТКЕ ДНЯ – СТРАТЕГИЯ ВЫЖИВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В. Г. Горшков, А. М. Макарьева, К. С. Лосев

Современная цивилизация – результат трёхсотлетней модернизации мирового сообщества, основанного на прогрессе науки и техники. Идеология модернизма сформировала представление о биосфере только как об источнике ресурсов для улучшения жизни человека, что привело к беспрецедентному уничтожению естественных экосистем и быстрому сокращению биоразнообразия. Только в последней четверти XX в. из-за серьёзных глобальных изменений, происходящих с большой скоростью, был поставлен вопрос о пределах разрушения и о роли естественных экосистем, и, следовательно, жизни в биосфере. На обширном эмпирическом материале, полученном биологами, географами и геологами, в конце XX в. в России было доказано, что естественные экосистемы формируют и управляют окружающей средой и что допустимый предел их разрушения уже пройден. Дальнейшее тотальное пагубное воздействие приведёт к окончательной потере устойчивости окружающей среды и жизни в целом, а следовательно, возникнет проблема выживания цивилизации и человека как вида.

Население планеты не имеет чёткого представления о том, почему необходимо сохранять ненарушенные экосистемы. В ещё большей степени это относится к правящим элитам, стратегическое мышление которых не распространяется дальше краткосрочных и – гораздо реже – среднесрочных политических программ. Что касается корпоративных промышленных и финансовых

структур, существенным образом влияющих на разработку политических стратегий, то ситуация здесь ещё хуже, так как основной их принцип – прибыль в кратчайшие сроки. Поэтому в мире в целом и в отдельных странах нет серьёзных политических стратегий сохранения естественной природы, что ведёт к безразличию населения к данной проблеме. Этому способствуют также заблуждения и неверная расстановка приоритетов в экологической проблематике.

Биотическая регуляция окружающей среды. Жизнь основана на биохимических реакциях преобразования неорганических веществ в органические, и наоборот. Мощность биохимических потоков синтеза и разложения такова, что в отсутствие связи между ними изменение окружающей среды до непригодного для жизни состояния может произойти за несколько десятков лет. К природным биохимическим реакциям люди добавили синтез и разложение различных продуктов цивилизации. При отсутствии связи между этими потоками окружающая среда за счёт накопления загрязняющих веществ может прийти в негодность за одно столетие.

Считается, что в доиндустриальную эпоху окружающая среда оставалась пригодной для жизни благодаря равенству синтеза и разложения органических веществ, что рассматривалось учёными как замкнутость биохимического круговорота. Поэтому предполагается, что в соответствии с нуждами растущей численности населения плане-



ГОРШКОВ Виктор Георгиевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института ядерной физики РАН. **МАКАРЬЕВА Анастасия Михайловна** – кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Санкт-Петербургского института ядерной физики РАН. **ЛОСЕВ Ким Семёнович** – доктор географических наук, главный научный сотрудник Всероссийского института научной и технической информации РАН.

ты допустима любая перестройка биосферы при единственном условии – ликвидации промышленных загрязнений, то есть при переходе к безотходным технологиям, что решает все экологические проблемы [1]. Это первое и главное заблуждение.

При полной замкнутости круговоротов веществ, генерируемых биотой и цивилизацией, окружающая среда находилась бы в состоянии, приравняемом к отсутствию жизни. В этом случае изменение идёт за счёт физического перемещения с земными недрами, то есть благодаря разнице потоков выхода веществ из земных недр в окружающую среду и их депонирования в осадочных породах. Потоки веществ в окружающую среду из космоса на 4–5 порядков меньше потоков из недр, и их можно не принимать во внимание. Выход вещества из недр и его депонирование в осадочных породах происходит в результате различных физических процессов. Чистый поток поступления веществ, равный разности потоков выхода веществ и их депонирования, имеет тот же порядок величины, что и каждый из потоков в отдельности. Мощности физических потоков выхода и депонирования и их разности на четыре порядка слабее биохимических потоков синтеза и разложения. Поэтому при полной замкнутости биохимических и цивилизационных круговоротов веществ окружающая среда изменялась бы на 4 порядка медленнее, чем при полной разомкнутости биохимических круговоротов. Однако и в этом случае окружающая среда могла бы полностью измениться и стать непригодной для жизни примерно за 100 тыс. лет, то есть за время, на 4–5 порядков меньшее известного периода существования жизни на планете. Отсюда следует, что без направленной разомкнутости биохимических круговоротов, претовращающей изменение окружающей среды в непригодной для жизни направлении, существование жизни невозможно.

В действительности полная замкнутость биохимических круговоротов, то есть прекращение воздействия жизни на окружающую среду, физически неосуществимо. Математически полная замкнутость предполагала бы точное равенство всех значащих цифр в величинах синтеза и разложения. Это биохимические процессы, идущие с участием различных организмов биоты. Данные процессы не могут совпадать друг с другом в любые моменты времени. Их скоррелированная связь возникает не в результате замкнутости круговоротов веществ, а определяется порогом чувствительности биоты: если изменения характеристик окружающей среды не превышают порога чувствительности, биота не реагирует на них. Реакция начинается в том случае, когда относительные изменения превышают порог чувствительности. Причём изменения могут происходить как за счёт функционирования самой биоты, так и за

счёт абиотического процесса физического перемешивания окружающей среды с земными недрами. Компенсируя нарушения окружающей среды, вносимые биотой, она неизбежно компенсирует и изменения, возникающие в результате абиотических физических процессов. Подобным же образом компенсируются изменения окружающей среды, происходящие благодаря антропогенному воздействию. Отметим, что, пренебрегая направленными физическими изменениями среды, после усреднения по случайным колебаниям, определяемым биотой, потоки синтеза и разложения совпадают с относительной точностью порядка чувствительности биоты, что и воспринимается как замкнутость биохимических круговоротов. Чувствительность биоты – фундаментальная экологическая характеристика биосферы, имеющая величину не менее 10^{-4} [2]. Механизм формирования и поддержания окружающей среды, пригодной для жизни, в пределах, определяемых чувствительностью биоты, был назван биотической регуляцией [2].

Невозможность существования жизни без биотической регуляции следует также из физической неустойчивости современного климата Земли, содержащей жидкую гидросферу [3]. Парниковый эффект, поддерживающий среднеглобальную приземную температуру выше точки замерзания воды, определяется в основном парами воды и облачностью. Согласно физическим законам, пары и облачность находятся в равновесии с жидкой гидросферой океана и суши. Равновесие зависит от приземной температуры. С её ростом на каждые 10°C концентрация паров воды в атмосфере возрастает вдвое, что приводит к соответствующему увеличению парникового эффекта и дальнейшему подъёму температуры. Поэтому существующее равновесное состояние климата неустойчиво по отношению к переходу либо в состояние полного испарения, либо оледенения гидросферы. Устойчивое поддержание среднеглобальной температуры в пределах $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ на протяжении последнего миллиарда лет может быть объяснено только биотическим управлением глобальным круговоротом воды.

Из изложенного следует, что наличие жизни на Земле возможно только при поддержании биотой всех характеристик окружающей среды, сформированных самой биотой. Необходимым условием такого поддержания является сохранение ненарушенной биоты на пространствах глобального масштаба.

Принципы функционирования жизни. Биота в процессе эволюции накопила огромное количество генетической информации, распространилась сплошным покровом на Земле и сформировала потоки переработки информации, недостижимые ни при каком развитии цивилизации. Биосфера

содержит около 10^{30} клеток организмов, каждая из которых перерабатывает порядка 10^8 бит/с, то есть столько, сколько современный персональный компьютер. Нетрудно оценить, что поток информации биоты Земли на 20 порядков превосходит потоки информации современной цивилизации. Эту пропасть никогда не удастся преодолеть [2]. Представление о том, что биотическое управление окружающей средой может быть заменено техническим, – это второе распространённое заблуждение.

Сложность жизни – основное свойство, которое обеспечивает биотическую регуляцию окружающей среды. Необходимая для регуляции деятельность живых организмов в составе естественных сообществ запрограммирована в генетической информации биологических видов. Любое изменение или ликвидация (путём искусственного отбора, генной инженерии или внедрения инородных видов в сообщество) этой информации ухудшает или полностью разрушает биотическую регуляцию. Надежды на изменение в лучшую сторону деградировавшей в результате человеческой деятельности окружающей среды из-за замены естественных аборигенных сообществ искусственными (например, превращение “пустыни в цветущий сад”) является частным проявлением упомянутого выше второго заблуждения. Ненарушенные естественные сообщества обладают максимально возможным потенциалом биотического управления окружающей средой.

Упорядоченность замкнутых систем может только уменьшаться, переходя в полную хаотичность. Упорядоченность открытых систем способна увеличиваться за счёт поглощения внешних потоков энергии. Но подобное увеличение любых нелинейных физических систем имеет предел, зависящий от поглощаемого внешнего потока. Такой процесс называют физической самоорганизацией. Оценки показывают, что упорядоченность существующей жизни (плотность запаса информации в единице объёма) на 24 порядка превосходит упорядоченность любых физических систем в любых внешних потоках [4]. Поэтому самозарождение современной жизни невозможно. Устойчивость жизни любого уровня от одноклеточных и многоклеточных организмов до социальных структур и экологических сообществ основана на принципе, не имеющем места в физических системах. Это принцип образования популяций однородных самовоспроизводящихся систем и включения конкурентного взаимодействия и стабилизирующего отбора внутри популяции. Именно стабилизирующий отбор на основе внутривидовой конкуренции, а не эволюция, является основным свойством, или законом жизни, её фундаментальным отличием от физических самоорганизующихся систем. Эволюция – всего лишь необязательное следствие стабилизирующего отбора. Надежды

на объяснение наблюдаемой сложности жизни и развития путём физической самоорганизации нелинейных физических систем – третье распространённое заблуждение.

Экологические принципы биотической регуляции окружающей среды. Биотическая регуляция возможна, если виды сообщества сохраняют генетическую информацию о том, что представляет собой оптимальная для жизни окружающая среда и как необходимо компенсировать нарушения её нормального состояния. Значит, виды не могут адаптировать свою генетическую программу и приспосабливаться к произвольным изменениям окружающей среды. Неспособность к адаптации объясняется постоянством морфологических и генетических характеристик вида на протяжении наблюдаемого по палеоданным времени его существования, которое имеет порядок несколько миллионов лет. Об этом свидетельствует отсутствие переходных форм между всеми существующими видами [2, 5]. Если бы виды генетически приспосабливались к изменениям окружающей среды, они не могли бы останавливать эти изменения и не было бы биотической регуляции. А без неё, как показано выше, не могло бы быть и жизни. Представление о возможности приспособления биоты к любым изменениям окружающей среды является четвертым заблуждением.

Следствием этого заблуждения стала широко распространённая озабоченность низким внутривидовым генетическим разнообразием, так как предполагается, что высокое разнообразие увеличивает способность вида приспосабливаться к изменяющимся условиям. В действительности низкое разнообразие популяции свидетельствует о близости особей к нормальному типу и малой доле уродливых особей с частично стёртой генетической информацией. Низкое внутривидовое разнообразие характеризует информационную программу вида, обеспечивающую как эффективное участие в управлении окружающей средой, так и возможность существования в различных внешних условиях.

Созданная и поддерживаемая биотой окружающая среда не может ограничивать биотическую регуляцию, продукцию и разложение органического вещества. Лимитирование различными биогенами и действие принципа Либиха возникает только в нарушенных условиях, в частности, при перенесении аборигенных видов одного сообщества в чужеродное, неестественное для них сообщество. Ограничение функционирования возникает и при культивировании распадных изменений в генетической программе используемых в сельском хозяйстве сортов растений и пород животных. Необоснованное распространение принципов лимитации на ненарушенную биоту суши и

океанов часто приводит к неразрешимым противоречиям [5] и является пятым заблуждением.

Экологические сообщества содержат программу восстановления после внешних нарушений. В ненарушенном состоянии сообщество способно поддерживать определённое распределение численности особей по видам и оптимальное состояние окружающей среды с максимальной эффективностью, то есть с наибольшей скоростью компенсации любых отклонений от нормы. После прекращения внешнего нарушения распределение видов в сообществе существенно изменяется. Доминантными становятся виды, максимально быстро возвращающие окружающую среду в нормальное состояние. По выполнению своих функций они уступают место другим, наиболее эффективно функционирующим на следующей стадии восстановления (сукцессии) видам до тех пор, пока ненарушенное сообщество и окружающая его среда не будут восстановлены. Так как "ремонтные" виды вытесняются другими, то это означает, что они изменяют окружающую среду в неблагоприятном для себя направлении. Поэтому в период восстановления биотическое управление ослаблено или вовсе отсутствует. Вытеснение одних ремонтных видов другими идёт только при восстановлении нарушенного сообщества и часто ошибочно интерпретируется как межвидовое конкурентное взаимодействие.

В зрелом лесу деревья находятся в сложных связях с деятельностью других организмов. Прирост листвы ограничивается её поеданием, прирост древесины и корней – деятельностью грибов и бактерий. Именно такой лес, где все органические составляющие дерева используются для жизни других организмов, является здоровым телом сообщества. В период сукцессии процессы развития направлены на скорейшее восстановление естественного зрелого леса, способного с наибольшей эффективностью управлять окружающей средой. В это время деревья растут с максимальной скоростью, имеют стерильную, не участвующую в метаболических процессах древесину (называемую "деловой"), – лес восстанавливает себя и не способен управлять окружающей средой. Поддержание лесных экосистем в состоянии непрерывной сукцессии, при вырубке каждые 40–50 лет "деловой" древесины, эквивалентно поддержанию больного человека в состоянии непрерывного выздоровления. Представления о допустимости вырубки "перестойного", "гниющего" ненарушенного леса (и аналогичные рецепты по "оздоровительному" вмешательству человека в другие экосистемы) являются шестым заблуждением.

Математические модели в климатологии и экологии. Перечисленные шесть видов заблуждений, существующие в современной климатологии и экологии, могли возникнуть только в этих на-

уках. Причина заключается в отсутствии возможности быстрой эмпирической проверки базовых положений. Многочисленные, но разрозненные и часто неправильно интерпретируемые эмпирические данные обрабатываются разнообразными компьютерными моделями. Их основная цель – подобрать параметры предполагаемых корреляционных связей так, чтобы они учитывали все эмпирические точки. При появлении новых данных в модели добавляются дополнительные параметры, поэтому информация, хранящаяся в них, не отличается от информации, содержащейся в табличном представлении данных. Многие модели нарушают законы сохранения энергии и вещества, а также второе начало термодинамики, что иногда признаётся самими авторами как обычное явление [6]. Подобные модели дают различные, часто противоположные, предсказания.

Естественная наука оперирует измеримыми величинами, учитывает и предсказывает их значения с определённой точностью (погрешностью). С прогрессом науки точность предсказаний увеличивается. Следует подчеркнуть, что в любой естественной науке не может быть "плюрализма мнений". Последний означает наличие хаоса и отсутствие информации [7]. Исходя из определения науки, на каждый поставленный вопрос в пределах достигнутой точности существует только один правильный ответ. Широкое использование математического моделирования в климатологии и экологии для получения фундаментальных выводов и прогнозов является седьмым заблуждением.

Перечисленные выше заблуждения не могли бы возникнуть в науках, имеющих прямую связь с экспериментом и непосредственный выход в технику. При наличии заблуждений техника перестаёт функционировать. (Частично подобные заблуждения начали появляться в физике, химии и некоторых разделах биологии при вере в возможность замены прямых измерений компьютерным моделированием, что немедленно сказывается, например, на увеличении числа катастроф.)

Приведённые заблуждения действительно являются заблуждениями, а не возможными альтернативными взглядами на рассматриваемые проблемы. Этот вывод сделан на основе использования твёрдо установленных законов сохранения энергии, вещества и второго начала термодинамики, а также других законов и фактов.

Приоритеты при решении экологических проблем. Сохранение механизма биотической регуляции в необходимых масштабах является приоритетной задачей XXI в. Для этого необходимо сохранить глобальные по своим масштабам территории, покрытые ненарушенными сообществами биоты. Огромная продуктивность современной ненарушенной биоты позволяет ликвидиро-

вать значительные флуктуации окружающей среды за времена порядка 10 лет [2]. Существуют также крупные редкие флуктуации, связанные с изменениями солнечной активности и плохо изученными процессами в недрах Земли, приводящими, например, к чередованию ледниковых и межледниковых периодов. Обратимость неблагоприятных процессов указывает на то, что биотическая регуляция действует в любые периоды времени. Биота останавливает эти изменения, однако не способна полностью предотвратить их возникновение. Даже в самые катастрофические периоды оледенения территории, покрытые ненарушенной биотой, сокращались менее чем в 2 раза. При этом время восстановления окружающей среды после обычных флуктуаций увеличивалось с 10 до 20 лет, то есть не менялось по порядку величины. Это было возможно лишь потому, что территории, покрытые ледниками и лишённые биоты, не вносили вклад в биохимические круговороты и не участвовали в биотическом управлении.

Совершенно иная ситуация возникает сейчас, когда более чем 60% суши освоено человеком и покрыто сильно нарушенной биотой [8]. Она обладает прежней или большей продуктивностью, но лишена способности к регуляции окружающей среды. При продолжении освоения природы и сокращении ненарушенных территорий биотический потенциал управления может быть полностью утрачен. Начнётся не глобальное потепление или похолодание на несколько градусов с соответствующей сменой климатических зон, а быстрый и необратимый переход планеты в полностью непригодное для жизни состояние. Поэтому основной экологической задачей является определение критического соотношения между площадью территорий, освоенных человеком и занятых ненарушенной биотой. Анализ круговорота углерода показал, что остановка прироста концентрации CO_2 в атмосфере может быть приближенно достигнута при существующей численности населения планеты благодаря сокращению вдвое территории эксплуатируемых лесов [2]. Однако основой биотической регуляции приземной температуры является не атмосферный CO_2 , а водный режим планеты [3]. При этом наблюдаемый рост концентрации CO_2 при условии сохранения территорий, покрытых ненарушенной биотой, не меняет устойчивости климата.

Ограничения на изменение водного режима гораздо жёстче. На карте Мира видно, что покрытые лесом большие пространства континентов изрезаны многочисленными реками и их притоками. Таковы территории Амазонии, Экваториальной Африки, Сибири и Канады. Огромные площади Сахары, Австралии и Центральной Азии лишены рек, хотя физический перенос влаги океанов на эти пространства не может существенно отличаться от переноса на территории, по-

крытые лесом. Лес на материках – это океан на суше, регулирующий влагосодержание и водный режим. Суша стала обитаемой и может оставаться населённой жизнью вследствие образования лесного покрова. Западная Европа, уничтожившая свои леса сотни лет назад, до сих пор не превратилась в пустыню лишь благодаря своему уникальному географическому положению. Уничтожение естественных лесов Амазонии, Экваториальной Африки, Сибири и Канады превратит эти пространства в пустыни. Не может быть и речи о повороте или даже незначительном изменении течения сибирских рек. Быстрое освоение биосферы и сокращение территорий с ненарушенной биотой подрывает потенциал биотической регуляции и уменьшает устойчивость окружающей среды, что проявляется в увеличении числа региональных катастрофических флуктуаций (наводнения, засухи, изменение длительности неестественно жарких или холодных периодов).

Человечество смогло многократно превысить допустимую численность благодаря использованию нефти и природного газа. Их запасы будут истощены в ближайшие десятилетия. Ещё значительные залежи каменного угля не смогут компенсировать нефть и газ, поскольку их коэффициент полезного действия больше, чем при использовании каменного угля.

Ядерная энергия никогда не использовалась естественной биотой, поэтому она не способна утилизировать отходы ядерного топлива. Общая доля ядерной энергии цивилизации не превосходит нескольких процентов. Запасы наиболее безопасной ядерной энергии деления обогащённого урана незначительны, и они истощаются с той же скоростью, что и запасы жидкого и газообразного топлива. Нет прогресса в отношении овладения управлением значительно больших запасов термоядерной энергии синтеза.

В природе не существует альтернативных источников энергии, способных заменить мощность ископаемого топлива в современном объёме. Мощность так называемых возобновляемых источников энергии (гидро-, ветровая, геотермальная и приливная) составляет менее десятой части от нынешнего потребления ископаемого топлива. Наибольшую среди перечисленных неистощимых возобновляемых мощностей составляет энергия рек, использование которой сопряжено с нарушением больших территорий, покрытых естественным сообществом. Остальные виды неистощаемой энергии на порядок меньше [2].

В последнее время широко обсуждается возможность применения водородного топлива. При сжигании водород соединяется с кислородом воздуха и образуется вода. В результате реакции выделяется большая энергия, равная энергии связи атомов в молекуле воды. Водород, безусловно,

представляет собой экологически чистый энергоноситель, который может быть использован в промышленности, транспорте и коммунальном хозяйстве. Но в природе нет запасов свободного или слабо связанного водорода, поэтому при любых технологиях производства свободного водорода из воды в силу ограниченности КПД преобразователей придётся затрачивать значительно больше энергии, чем её можно будет получить после сжигания. Надежды на открытие “катализаторов”, уменьшающих затраты энергии, соответствуют надеждам на создание вечных двигателей.

При анализе возможных сценариев будущего и разработке долговременных стратегий развития необходимо принимать во внимание следующие положения.

• После истощения запасов жидкого и газообразного ископаемого топлива и переходе на уголь энергетическая мощность цивилизации неизбежно упадёт, по крайней мере, на порядок величины. Это приведёт к сокращению антропогенной доли потребления продукции биосферы с современных 10% до, возможно, 1%. Этого было бы достаточно для остановки глобальных изменений за счёт частичного восстановления потенциала биотической регуляции окружающей среды. Выход на необходимую максимальную скорость регуляции за счёт дальнейшего сокращения антропогенной доли потребления может быть растянут на несколько столетий без угрозы потери устойчивости окружающей среды. Современная мощность цивилизации достаточна для полного уничтожения нарушенной биоты на всей планете. Внезапность осознания человечеством неизбежности конца цивилизации, поддерживаемой энергией ископаемого топлива, вызовет попытки сохранения численности конфликтующих групп людей (стран, национальностей) любыми средствами, включая применение ядерного оружия. В этой ситуации глобальная биота может быть полностью уничтожена, а биотическая регуляция необратимо утрачена.

• Наиболее опасная ситуация возникнет при открытии (как упоминалось, маловероятном) возможности использования неограниченной по своим запасам термоядерной энергии. В этом случае в состоянии эйфории вседозволенности при рассмотрении биосферы как ресурса цивилизации, продолжении экономического роста и сохранении существующей численности населения планеты неизбежно произойдёт ликвидация нарушенной биоты со всеми вытекающими последствиями.

• Сокращение глобальной антропогенной доли потребления продукции биосферы не может происходить за счёт уменьшения на порядок величины доли потребления каждого человека, поскольку последняя определяется в основном биологическими особенностями человеческого организма. Значит, основной проблемой современности является сокращение численности населения. Если необходимость этого шага будет осознана, то человечество сможет успеть подготовиться к быстро наступающим изменениям, сохранить цивилизацию и жизнь на планете. Уменьшение численности населения может быть решено только мерами по планированию семьи и сокращению рождаемости путём перехода к однодетной семье. Депопуляция уже не вызывает в ряде стран опасения утраты конкурентоспособности, напротив, многие страны опасаются роста численности населения и именно в результате этого потери конкурентоспособности.

Рост численности населения в ряде государств ведёт к развитию процесса “иммиграционной колонизации” стран, где численность населения сокращается. Этот глобальный процесс может привести к далеко идущим последствиям, когда примерно каждые пять лет появляется новая ядерная держава. Такое развитие событий только ускорит разрушение цивилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Leontief W.* The Future of World Economy. New York: Oxford University Press, 1977.
2. *Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995.
3. *Макарьева А.М., Горшков В.Г.* Парниковый эффект и проблема устойчивости среднелобальной температуры земной поверхности // Доклады АН. 376 (6).
4. *Горшков В.Г., Макарьева А.М.* К вопросу о возможности физической самоорганизации биологических и экологических систем // Доклады РАН. 2001. 378 (4).
5. *Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Mackey B., Gorshkov V.V.* How valid are the biological and ecological principles underpinning Global Change science // Energy & Environment. 2002. № 13.
6. *Kooijman S.A.L.M.* Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems. Cambridge: Cambridge University Press. 2000.
7. *Brillouin L.* Science and Information Theory. New York: Academic Press. 1956.
8. *World Resources 1988–1989.* New York: Basic Books. Inc. 1988.

