

ИНФОРМАЦИЯ В ЖИВОЙ И НЕЖИВОЙ ПРИРОДЕ

© 2002 г. В. В. Горшков*, В. Г. Горшков**,
В. И. Данилов-Данильян***, К. С. Лосев****, А. М. Макарьева**

* Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН
197376 Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, 2

** Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН
188300 Гатчина, Ленинградская обл.

*** Международный независимый эколого-политологический университет
111250 Москва, а/я 20

**** Всероссийский институт научной и технической информации
125315 Москва, А-315, ул. Усиевича, 20

Поступила в редакцию 23.02.2001 г.

Замкнутые системы подчиняются второму началу термодинамики и не могут спонтанно увеличивать свою упорядоченность. В открытых физических системах, находящихся в потоках внешней энергии, возникают дополнительные макроскопические степени свободы ("ячейки памяти"), число которых возрастает с увеличением потока и упорядоченности внешней энергии. Биологические системы характеризуются молекулярными степенями свободы, плотность которых более чем на двадцать порядков превосходит плотность макроскопических степеней свободы любых открытых физических систем в разных потоках внешней энергии. Это показывает, что самоорганизация физических систем во внешних потоках энергии и самоорганизация и эволюция живых систем имеют принципиально разную природу. Таким образом, несмотря на то, что жизнь представляет собой открытую систему, потребляемые ею потоки энергии (питания) и любые другие воздействия окружающей среды на жизнь столь низко организованы по сравнению с самой жизнью, что они не могут увеличить уровень упорядоченности последней. Поэтому в живых системах действует аналог второго начала термодинамики – на протяжении времени, много меньшего времени эволюционных изменений, в живых системах может происходить только утрата накопленной информации, т.е. увеличение энтропии, несмотря на потребление внешних потоков энергии – питания.

Ключевые слова: биосфера, информация, замкнутые и открытые системы.

ЗАМКНУТЫЕ И ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ

Физические системы обычно подразделяются на замкнутые и открытые. В замкнутых системах, находящихся в состоянии теплового равновесия, ничего не происходит. Они находятся в состоянии максимального хаоса. В них невозможно спонтанное возникновение каких бы то ни было наблюдаемых процессов. Это эмпирически проверенное свойство замкнутых систем носит название второго начала термодинамики. В открытых физических системах, потребляющих энергию извне, могут возникать различные регистрируемые процессы, происходить так называемая физическая самоорганизация. Хорошо известным примером такой организации является возникновение вихревых потоков – перекатов – в быстро текущей порожистой реке. Однако далеко не во всех открытых физических системах возникают организованные процессы, а только в тех, которые получают извне поток информации. Рассмотрим, что это означает.

Для возникновения информации необходимы ячейки памяти. В письменности такими ячейками памяти являются позиции (местоположения) букв и пробелов в тексте. Если во всех позициях стоят определенные буквы, образующие слова и фразы, то возникает осмысленный текст, содержащий определенную информацию. Количество информации лимитируется общим числом ячеек памяти – числом знаков, т.е. "длиной" текста, и количеством используемых в алфавите букв (точнее, их частотой встречаемости в словах). Величина информации максимальна, если в каждой позиции текста стоит определенная буква, соответствующая осмысленному слову, фразе, абзацу и т.д. Если в таком тексте букву, слово, фразу заменить на произвольно выбранные, то информация, вообще говоря, будет частично или полностью утрачена (утрата информации не происходит только в специально закодированных текстах, где для надежности от помех используется избыточная информация). Полное отсутствие информации возникает, если в заданном по величине тексте в каждой позиции расположить случайно

произвольную букву. Это состояние текста эквивалентно максимальной хаотичности, характеризующей замкнутую физическую систему.

“Длина” текста, т.е. общее число занимаемых им позиций (с учетом количества значений, которое может принимать символ в каждой позиции), представляет собой информационную емкость системы. Буквенную информацию можно перекодировать в цифровую, используемую в современных компьютерах и видеокамерах. Ячейками памяти в этих приборах являются макроскопические элементы различной физической природы. Увеличение числа ячеек памяти усиливает разрешающую способность телевизионных экранов и общий объем памяти компьютеров.

ИНФОРМАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В земной природе естественными ячейками памяти являются молекулы веществ окружающей среды, с которыми взаимодействует солнечное излучение. При отсутствии солнечного излучения окружающая среда перешла бы в состояние, близкое к тепловому равновесию, характерному для замкнутых физических систем, в которых не происходят никакие процессы. Солнечное излучение приводит к переходу молекул окружающей среды в возбужденные состояния, превышающие тепловую (хаотическую) энергию молекул. Распад этих возбужденных состояний обуславливает генерацию всех наблюдаемых в окружающей среде процессов – круговорот воды, ветер, глобальную циркуляцию атмосферы и океана и пр.

Возбуждение солнечным излучением молекул окружающей среды над тепловым шумом означает, что Земля получает от Солнца не тепло, а поток энергии, богатый информацией. Количество солнечной энергии, получаемое Землей, равно количеству тепловой энергии, излучаемой Землей обратно в космическое пространство. В противном случае Земля непрерывно разогревалась бы или охлаждалась, что не соответствует действительности. (Согласно современным палеоданным, жизнь на Земле существует в течение последних 3.85 млрд. лет. При этом, согласно другим независимым палеоданным, среднеглобальная температура земной поверхности колебалась незначительно, в пределах оптимальной для жизни области – от 10°C до 20°C.)

Однако получаемая Землей и отправляемая обратно энергии существенно различаются по своим информационным характеристикам. Солнце посылает на Землю коротковолновое видимое излучение, а Земля посылает обратно в космос длинноволновое тепловое излучение. Как стало известно в прошедшем XX в., излучение состоит из дискретных частиц – фотонов. Средняя энер-

гия фотонов пропорциональна абсолютной температуре излучения. Абсолютная температура поверхности Солнца порядка 6000 К, а Земли – 300 К, т.е. в 20 раз меньше солнечной. Это означает, что каждый солнечный фотон содержит в среднем в 20 раз больше энергии, чем фотон теплового излучения Земли. Так как потоки поглощения и излучения энергии Землей одинаковы, то, следовательно, каждый солнечный фотон распадается на 20 тепловых. В процессе каскада этого распада и происходит передача информации молекулярным ячейкам памяти окружающей среды, т.е. генерация всех наблюдаемых упорядоченных процессов на земной поверхности. (Упорядоченная геотермальная энергия – вулканы, гейзеры и пр. – составляет несколько миллионов долей от энергии солнечной радиации, получаемой земной поверхностью. Поэтому с высокой степенью точности все упорядоченные процессы в земной окружающей среде генерируются солнечной радиацией.)

Можно оценить количество молекулярных ячеек памяти, с которыми взаимодействует солнечное излучение на всей земной поверхности, и тем самым оценить поток информации, посылаемый Солнцем на Землю. Один солнечный фотон может возбудить до 20 молекул, каждая из которых затем испускает тепловой фотон. Следовательно, число молекулярных ячеек памяти, возбуждаемых солнечным излучением, равно по порядку величины числу тепловых фотонов, испускаемых Землей обратно в космос. Это число (S) равно известному потоку энергии солнечного излучения, поглощенного земной поверхностью ($Q = 10^{17}$ Вт; см., например, Горшков, 1996), деленному на среднюю энергию теплового фотона, испускаемого одной молекулой. Эта энергия равна $k_B T \sim 10^{-21}$ Дж/молекула, где k_B – постоянная Больцмана, пропорциональная обратной величине числа Авогадро (6×10^{23}), $T = 300$ К – абсолютная температура земной поверхности. Таким образом, $S = Q/(k_B T) = 10^{38}$ молекул/с. Если приближенно считать, что над тепловым шумом возбуждается в основном одно состояние молекулы, т.е. молекулярная ячейка памяти содержит два состояния (возбужденное и основное), то размерность “молекула” можно заменить на “бит”, и поток информации, получаемый Землей от Солнца, имеет порядок 10^{38} бит/с.

Поток получаемой Землей информации (в форме потока солнечной энергии) связан с переходом молекул на квантованные, возбужденные над тепловым шумом состояния с определенной энергией. Иными словами, поток информации неизбежно связан с потоком энергии, способной приводить к возникновению возбуждений молекул. С увеличением такого потока энергии возрастает поток информации.

Как указывалось выше, не всякая энергия способна вызывать возбуждения молекул над тепловым шумом. Можно представить себе ситуацию, в которой Солнце посылает на Землю постоянный поток энергии, а температура поверхности Солнца уменьшается вплоть до температуры земной поверхности. При этом поверхность Земли оставалась бы неизменной теплой, а поток информации от Солнца к Земле уменьшался бы и обратился в ноль при совпадении температур поверхностей Земли и Солнца, после чего все упорядоченные процессы на земной поверхности – круговорот воды (испарение, осадки, течение рек), циклоны, грозы, ветры, ураганы и пр. – прекратились бы. Поверхность Земли пришла бы в состояние теплового равновесия с поверхностью Солнца, т.е. стала бы ее подсистемой.

Энергия всех упорядоченных процессов, генерируемых солнечным излучением на земной поверхности, с течением времени подвергается диссипации и переходит в тепло, которое в виде тепловых фотонов испускается в космос. При этом информация, содержащаяся во всех молекулярных ячейках памяти, стирается. Количество молекулярных ячеек памяти, содержащих информацию, т.е. находящихся в строго определенном состоянии, приближенно определяет количество информации в битах (если считать, что молекулярные ячейки памяти – бинарные, т.е. могут находиться в одном из двух состояний). Количество молекулярных ячеек памяти, не содержащих информацию, т.е. тех, состояние которых не определено, задает меру хаоса, называемую в физике энтропией. Общее количество ячеек памяти представляет собой информационную емкость системы. Таким образом, сумма количества информации и энтропии равна информационная емкость системы.

Следовательно, максимально возможные количества как информации, так и энтропии также равны информационной емкости системы. Если считать, что солнечное излучение активизирует все молекулярные ячейки памяти окружающей среды (всю информационную емкость системы), то солнечное излучение посылает на Землю чистый поток информации и нулевой поток энтропии. Тепловое излучение Земли возникает после стирания информации во всех ячейках памяти. Следовательно, Земля излучает в космос нулевой поток информации и чистый поток энтропии. Таким образом, приходящий на Землю поток информации, равный $Q/k_B T$, совпадает с обратным потоком энтропии. В физике поток энтропии, как известно, определяется отношением Q/T и совпадает с точностью до постоянной k_B , т.е. с точностью до выбора единиц измерения, с определенным выше потоком информации. На основе изложенного ясен смысл этого отношения – оно пропорционально числу молекулярных ячеек памяти, получивших инфор-

мацию от солнечного излучения, которая затем была полностью стерта.

ИНФОРМАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Возбуждаемые солнечным излучением физические процессы на поверхности Земли стали называть физической самоорганизацией. Большинство молекулярных возбуждений подвергается быстрой диссипации, переходя в тепло и не вызывая каких-либо существенных химических реакций. Однако переход солнечного излучения в тепловую энергию распределяется по поверхности Земли неравномерно, что приводит к возникновению градиентов температуры, давления, неравномерности круговорота воды – испарения осадков, течения рек. Эта неравномерность генерирует хорошо всем известные широкомасштабные упорядоченные процессы – ветры, штормы, ураганы, циклоны, грозы, смерчи и пр. Часть таких процессов, как, например, испарение воды с поверхности водных объектов в атмосферу, возникает непосредственно под воздействием солнечного излучения. Другая часть процессов, таких как ураганы, смерчи, падение снежных лавин, происходит после накопления определенной потенциальной энергии до некоторого критического порогового уровня, а именно, накопления скрытой теплоты парообразования в атмосфере перед началом развития ураганов и смерчей, накопление гравитационной энергии снежных осадков в горах и песчаных барханов в пустынях перед началом схода лавин и разрушения барханов.

Критический порог накопленной потенциальной энергии, преодоление которого приводит к развитию процесса перехода потенциальной энергии в кинетическую энергию распада состояния, строго ограничен, и накопление потенциальной энергии не может происходить выше этого порога. Последние физические процессы стали называть процессами самоорганизованной критичности (Bak et al., 1987).

Информация обо всех этих физических процессах запрограммирована на макроскопических, а не на молекулярных ячейках памяти, которые часто называют степенями свободы процесса. Так, например, степенями свободы вихревого (турбулентного) течения воды в реках являются количества возможных вихрей различного размера. Общее число вихрей определяется числом вихрей минимального размера, на которых происходит диссипация вихревой энергии с переходом последней в тепло и число которых возрастает с ростом энергии потока (Ландау, Лифшиц, 1954). Число макроскопических ячеек памяти всегда на огромное количество порядков меньше существующих в окружающей среде молекулярных ячеек памяти. Соответственно потоки ин-

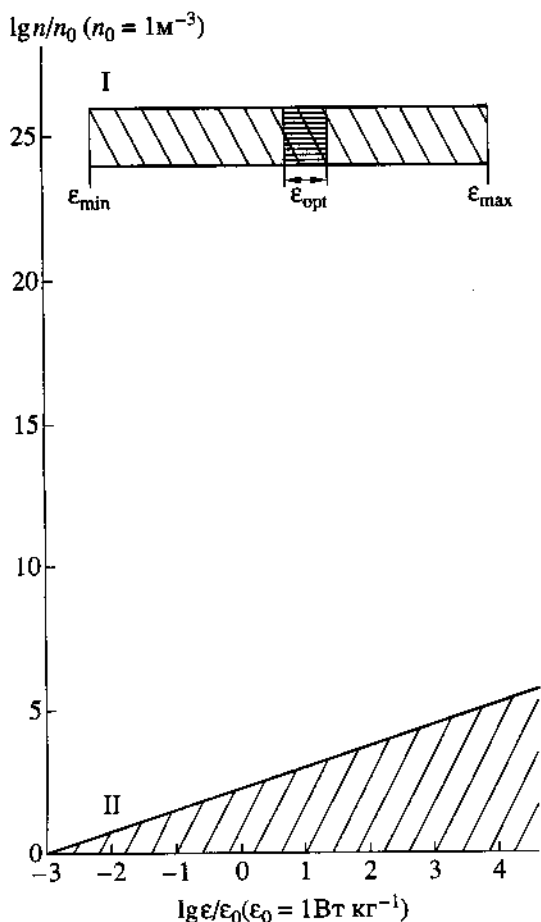


Рис. 1. Организация физических и живых систем в зависимости от плотности поглощаемой системой энергии.

формации, характеризующие генерируемые солнечным излучением процессы физической самоорганизации, на много порядков меньше потоков информации, получаемых Землей с солнечным излучением, а эффективность (к.п.д.) преобразования солнечной энергии в энергию макроскопических процессов физической самоорганизации в окружающей среде не превосходит 1% (Gorshkov et al., 2000). С ростом внешнего потока энергии увеличивается и генерируемая им энергия процессов физической самоорганизации. Так, например, с увеличением уклона реки возрастает число вихревых потоков на перекатах и порогах.

В неживой природе практически никогда не возникает информация, записанная на молекулярных ячейках памяти. Накопление и использование информации, записанной на молекулярных ячейках памяти, а именно генетической информации, происходит только в живой природе – биоте Земли (рис. 1). Поэтому количество информации и величины ее потоков в живой и неживой природе различаются более чем на 20 порядков. Это приводит

к кардинальным различиям процессов самоорганизации в живой и неживой природе, чему до сих пор уделяется недостаточное внимание.

Рисунок 1 иллюстрирует различия характеристик организации физических и живых систем в зависимости от плотности поглощаемой энергии. Ось ординат – десятичный логарифм плотности числа ячеек памяти (степеней свободы) на единицу объема (м^3) физических систем (II) и единицу метаболически активного объема (м^3) биологических (экологических) систем (I); ось абсцисс – десятичный логарифм мощности внешней энергии ϵ , потребляемой единицей массы системы ($\text{Вт кг}^{-1} = \text{м}^2 \text{с}^{-3}$). Области, занимаемые физическими (II) и биологическими (I) организованными системами, заштрихованы; ϵ_{\min} – наблюдаемый минимум метаболической мощности; ϵ_{\max} – наблюдаемый максимум метаболической мощности (наибольшая скорость деления бактерий, рекордные прыжки животных). Мощности ϵ в $\epsilon_{\min} \leq \epsilon \leq \epsilon_{\max}$ наблюдаются у видов практически со всеми наблюдаемыми величинами геномов от 10^6 н.п. у бактерий до 10^9 – 10^{11} н.п. у растений и животных; ϵ_{opt} – область оптимальной метаболической мощности существования (заштрихована), используемая более чем 90% видами биосферы независимо от размера генома (Gorshkov et al., 2000). Наклонная линия – плотность числа турбулентных степеней свободы (турбулентных вихрей) воздушных масс в зависимости от плотности мощности энергии на единицу воздушной массы, ϵ (закон Колмогорова–Обухова, см. Ландау, Лифшиц, 1954). Характеристики всех прочих естественных самоорганизованных физических процессов в окружающей среде по оценкам авторов не выходят за пределы заштрихованного треугольника. Отметим, что при продолжении наклонной линии физической самоорганизации вправо последняя достигнет значений упорядоченности, характерных для живых систем, при плотностях энергии, больших $10^{32} \text{ Вт кг}^{-1}$. Очевидно, что при таких мощностях никакие устойчивые молекулярные структуры, необходимые для возникновения жизни, образоваться не могут.

Характер и течение всех процессов физической самоорганизации полностью определяются подводимым к системе внешним потоком энергии, в рассматриваемом нами случае – солнечным излучением, а также особенностями окружающей среды, где эти процессы происходят. Прекращение или изменение внешних потоков энергии приводят к остановке или соответствующему изменению процессов физической самоорганизации. После восстановления внешнего потока энергии процессы физической самоорганизации возникают вновь в прежнем виде, характерном для заданного потока внешней энергии. Совершенно так же процессы самоорганизованной критичности полностью определяются характером и критическим порогом

накопленной потенциальной энергии. Не происходит никаких эволюционных изменений процессов физической самоорганизации и самоорганизованной критичности при неизменных видах внешних потоков энергии и накапливаемой потенциальной энергии. В этом смысле определение "самоорганизация" неверно характеризует процессы и состояния в физических системах – они не самоорганизованы, а организованы величинами и характером внешних потоков энергии или накопленной потенциальной энергией, а также характеристиками окружающей среды. Отсюда однозначно следует, что окружающая среда под воздействием внешних потоков энергии определяет и управляет всеми процессами физической "самоорганизации", и соответственно эти процессы не могут ни изменить окружающую среду направленным образом, ни управлять ею (см. ниже).

ИНФОРМАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Биологические системы – живые организмы и их сообщества, накапливающие информацию в молекулярных ячейках памяти генома – макромолекул ДНК, не имеют порога накопления этой информации (во всяком случае предела, предвидимого современной наукой). Живые системы в процессе эволюции накопили столь большой запас информации, что определяемые данной информацией высокоорганизованные процессы жизни не могут ни спонтанно генерироваться, ни поддерживаться никакими потоками внешней энергии. Это хорошо известно со времен Пастера, продемонстрировавшего невозможность самозарождения жизни в любых условиях. Другим подтверждением этого же свойства является тот факт, что вымершие виды никогда не возникают вновь. Поэтому только эволюция живых организмов представляет собой истинную самоорганизацию.

Сохранение генетической информации и поддержание устойчивости биологических систем – видов организмов и их сообществ – основаны на новом принципе, не имеющем места в системах физической самоорганизации. Этот принцип состоит в образовании популяции особей аналогичных биологических систем, включении конкурентного взаимодействия между особями и выбраковке и исключении из популяции распадных особей с частично стертой генетической информацией. Способность нормальных особей к самовоспроизводству позволяет восполнить образовавшиеся вакансии и обеспечивать стабильность численности популяций.

Уровень организации живых систем не зависит от потребляемых ими внешних потоков энергии (см. рис. 1). Поэтому у жизни появилась возможность управления условиями окружающей среды, т.е. возможность изменять эти условия, поддержи-

вая их в устойчивом, оптимальном для самой жизни состоянии. Потребление внешней энергии – питание – необходимо жизни для восполнения энергетических затрат на конкурентное взаимодействие, воспроизводство и управление условиями окружающей среды (Горшков и др., 1999).

Можно утверждать, что отделение живой природы от неживой произошло в тот момент, когда "преджизнь" накопила достаточно генетической информации для того, чтобы начать генерировать процессы, сложность которых более не зависит от условий окружающей среды и потребляемого питания, т.е. не может быть увеличена за их счет. При этом жизнь имеет возможность противодействовать любым нежелательным изменениям окружающей среды, возвращая последнюю в оптимальное для себя состояние. Очевидно, что эти воздействия, основанные на генетической информации и информации, накапливаемой в памяти организмов, не могут описываться теми же уравнениями, что и процессы физической самоорганизации и самоорганизованной критичности, вся информация о которых содержится в окружающей среде и внешних потоках энергии. Тем более не могут описываться этими уравнениями процессы эволюции жизни, связанные с дальнейшим изменением и накоплением генетической информации.

Следует отметить, что объем накопленной в биоте информации так далеко превзошел объемы информации, поступающие в нее с потоками питания, что последние не влияют на первую. На протяжении времени, меньших времени эволюционных изменений, информация биоты остается неизменной при действии стабилизирующего отбора и может подвергаться лишь распаду (стиранию информации) при выключении естественного отбора. В этом смысле поведение жизни аналогично поведению физически замкнутой системы. Несмотря на то, что жизнь – открытая система, потребляемые ею потоки энергии (питания) и любые другие воздействия окружающей среды на жизнь столь низко организованы по сравнению с самой жизнью, что они не могут увеличить уровень упорядоченности (т.е. запас информации) жизни. Поэтому в живых системах действует аналог второго начала термодинамики – на протяжении времени, много меньшего времени эволюционных изменений, в живых системах может происходить только утрата накопленной информации, т.е. увеличение энтропии, несмотря на потребление внешних потоков энергии – питания.

Далее в любых системах возникают флуктуации, называемые шумом. Возникают они и в генетических системах, что связано с невозможностью абсолютно точного определения нормального генома в процессах конкурентного взаимодействия – стирание небольшой части генетической инфор-



Рис. 2. Важнейшие информационные характеристики биоты и современной цивилизации.

мации вида не приводит к уменьшению конкурентоспособности особей. Белым шумом называют флуктуации, которые равномерно, случайно распределены по всем характеристикам системы подобно белому свету, в котором равномерно перемешаны все цвета радуги. Белый шум возникает в

абсолютно замкнутых системах, не подверженных внешним воздействиям, приводящим к неравномерности распределения флуктуаций. Так как в неживой природе очень трудно создать условия, в которых отсутствуют внешние воздействия, то белый шум в физических системах практически ни-

когда не наблюдается. Идеальным объектом для наблюдения белого шума являются именно генетические системы, потому что внешние воздействия не сказываются с огромной степенью точности на уровне упорядоченности этих систем.

ИНФОРМАЦИЯ БИОТЫ И ЦИВИЛИЗАЦИИ

Управление окружающей средой наиболее отчетливо проявляется во всех человеческих цивилизациях. Осваивая новые территории, человек стремится привести окружающую среду в них в оптимальное для себя состояние. Он вырубал леса, превращал освободившиеся территории в пашни и пастбища, осушал болота, строил плотины на реках. В процессе этой деятельности человек разрушал естественные сообщества различных видов живых организмов – биоту Земли, функционирование которой, как постепенно становится все более очевидным (Gorshkov et al., 2000), поддерживает устойчивость существующего климата Земли в глобальных масштабах.

Разрушение естественной биоты человеком может подорвать устойчивость глобального климата Земли. На протяжении миллиардов лет существования жизни среднеглобальная приземная температура колебалась от 10 до 20°C и основная часть гидросферы находилась в жидкой фазе в океанах. Наблюдаемая устойчивость земного климата однозначно указывает на то, что ненарушенная биота Земли была способна обеспечивать эту устойчивость на протяжении (практически) неограниченного периода времени (порядка миллиардов лет).

Быстрое развитие современной цивилизации, ошеломляющие успехи в современном развитии компьютерной техники и всемирной информационной сети, а также очевидная способность человека к полному уничтожению глобальной биоты создают впечатление, что возможности человека безграничны и намного превосходят возможности ненарушенной глобальной биоты во всех отношениях. Поэтому создается впечатление, что осознав необходимость управления окружающей средой и климатом, человек легко сможет заменить управляющий потенциал биоты средствами развитой им цивилизации. Ответ на вопрос, так ли это, может дать количественный анализ запасов и потоков информации в биоте и цивилизации (рис. 2).

Генетический запас информации в глобальной биоте можно оценить по известному числу видов $\sim 10^7$ и среднему числу молекулярных ячеек памяти (нуклеотидных пар, н.п.) в геноме вида $\sim 10^9$ н.п.

Это дает для запаса информации в биоте величину порядка 10^{16} бит. Того же порядка величины и запас информации в современной цивилизации. В этом можно убедиться, предполагая, что вся информация современной цивилизации может быть размещена в памяти современных компьютеров, и используя известные данные об этих компьютерах и их глобальной численности. Скорости изменения запаса информации в ходе биологической эволюции глобальной биоты и прогресса цивилизации отличаются на семь порядков. Именно эта разница в скоростях накопления информации приводит к возможности быстрого освоения живой природы человеком и вытеснения ненарушенной биоты с лица Земли.

Однако потоки информации в биоте, определяющие управляющий окружающей средой потенциал, превосходят информационные потоки в цивилизации на двадцать порядков (см. рис. 2). Это связано с тем, что биота использует молекулярные ячейки памяти в каждой живой клетке, а каждая клетка перерабатывает потоки информации того же порядка, что и современные персональные компьютеры. В биосфере, как можно подсчитать, содержится около 10^{28} клеток, а в цивилизации не более 10^8 компьютеров (не более одного персонального компьютера на 10–50 человек). Этот фантастический разрыв в потоках информации в биоте и цивилизации, очевидно, не удастся преодолеть ни при каких последующих достижениях прогресса (Gorshkov et al., 2000). Поэтому людям неизбежно придется восстанавливать и сохранять ненарушенную биоту на Земле в таких масштабах, которые, как и в прежние времена, обеспечивали бы сохранение пригодной для жизни человека глобальной окружающей среды и климата Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горшков В.Г. Запасы и потоки информации в биоте и цивилизации // Докл. РАН. 1996. Т. 350. № 1. С. 135–138.
- Горшков В.Г., Горшков В.В., Макарьева А.М. Биотическая регуляция окружающей среды // Экология и образование. 1999. № 1/2. С. 11–18.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М.: ГИТТЛ, 1954.
- Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized Criticality: An Explanation of 1/f Noise // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 59. P. 381–384.
- Gorshkov V.G., Gorskov V.V., Makarieva A.M. Biotic Regulation of the Environment: Key Issue of Global Change // Springer-Praxis Series in Environmental Sciences. London: Springer-Verlag, 2000. 367 p.