

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ВИНИТИ)

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА
ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 5

Москва 2001

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 502:113/119

В. В. Горшков, В. Г. Горшков, В. И. Данилов-Данильян,
К. С. Лосев, А. М. Макарьева

Информация в живой и неживой природе

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 равных 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.

1. ЗАМКНУТЫЕ И ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ

Физические системы обычно подразделяются на замкнутые и открытые. В замкнутых системах, находящихся в состоянии теплового равновесия, ни-

чего 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, происходит так называемая физическая самоорганизация. Хорошо известным примером такой организации является возникновение вихревых потоков — перекатов — в быстро текущей порожиистой 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 местоположения букв и пробелов в тексте. Если во всех местоположениях стоят определенные буквы, образующие слова и фразы, то возникает осмысленный текст, содержащий определенную информацию. Количество информации определяется общим числом ячеек памяти — числом знаков, т. е. величиной текста, а также количеством используемых в алфавите букв (точнее, их частотой встречаемости в словах). Объем информации максимален, если в каждом местоположении текста стоит определенная буква, соответствующая осмысленному слову, фразе, абзацу и т. д. Если осмысленную букву, слово, фразу заменить на произвольно выбранные, то информация будет утрачена. Полное отсутствие информации возникает, если в заданном по объему тексте в каждом местоположении расположить случайно произвольную букву. Это состояние текста эквивалентно максимальной хаотичности, характеризующей замкнутую физическую систему.

Объем текста, т. е. общее число ячеек памяти (знаков), 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.

2. ИНФОРМАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В природе естественными ячейками памяти являются молекулы веществ окружающей среды, с которыми взаимодействует солнечное излучение. В отсутствие солнечного излучения окружающая среда переходит 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 приводит к генерации всех наблюдаемых в окружающей среде процессов — круговороту воды, ветру, глобальной циркуляции атмосферы и океана и пр.

Возбуждение солнечным излучением молекул

окружающей среды над тепловым шумом означает, что Солнце посылает на Землю 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 бы непрерывно разогревалась или охлаждалась. 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-м веке, излучение состоит из дискретных частиц — фотонов. Средняя энергия фотонов пропорциональна абсолютной температуре излучения. Абсолютная температура поверхности Солнца порядка 6000 К, а абсолютная температура Земли имеет порядок 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 фотонов. В процессе каскада этого распада и происходит передача информации молекулярным ячейкам памяти окружающей среды, т. е. генерация всех наблюдаемых упорядоченных процессов на земной поверхности.

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 [1]), 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 ($6 \cdot 10^{23}$), $T=300$ К — абсолютная температура земной поверхности. Таким образом, $S=Q/(k_B T)=10^{38}$ молекул/сек. 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/сек.

Поток информации от Солнца к Земле связан с переходом молекул на квантованные, возбужденные над тепловым шумом состояния с определенной энергией. Поэтому поток информации неизбежно связан с потоком энергии, способной приводить

к возникновению возбуждений молекул: С увеличением такого потока энергии увеличивается поток информации.

Однако, как указывалось выше, не всякая энергия способна вызывать возбуждения молекул над тепловым шумом. Можно представить себе ситуацию, в которой Солнце посылало бы на Землю постоянный поток энергии, а температура поверхности Солнца уменьшалась бы вплоть до температуры земной поверхности. При этом поверхность Земли оставалась бы неизменно теплой. Однако поток информации от Солнца к Земле уменьшался бы и обратился бы в ноль при совпадении температур поверхностей Земли и Солнца. После этого 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 содержат два состояния). Количество молекулярных ячеек памяти, не содержащих информацию, т. е. те, 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 информационной емкости 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. Приведенное рассмотрение объясняет смысл этого отношения — оно пропорционально числу молекулярных ячеек памяти, получивших информацию от солнечного излучения, которая затем была полностью стерта.

3. ИНФОРМАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Возбуждаемые солнечным излучением физические процессы на поверхности Земли стали называть физической самоорганизацией. Подавляющее 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. Это 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 этих процессов, таких, например, как испарение воды 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, накопления гравитационной энергии снежных осадков в горах и песчаных барханов в пустынях перед началом схода лавин и разрушения барханов.

Критический порог накопленной потенциальной энергии, приводящий 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 [2].

Информация обо всех этих физических процессах запрограммирована на макроскопических, а не молекулярных ячейках памяти, которые часто называют степенями свободы процесса. Так, например, степенями свободы вихревого (турбулентного) течения воды в реках являются количество 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 [3] (рис. 1). Число макроскопических ячеек памяти всегда на огромное количество порядков меньше существующих в окружающей среде молекулярных ячеек памяти. Соответственно, потоки информации, характеризующие процессы физической самоорганизации, генерируемые солнечным излучением, на много порядков меньше потоков информации, посылаемых Солнцем на Землю. А эффективность (к.п.д.) преобразования солнечной энергии в энергию макроскопических процессов физической самоорганизации в окружающей среде не превосходит 1% [4].

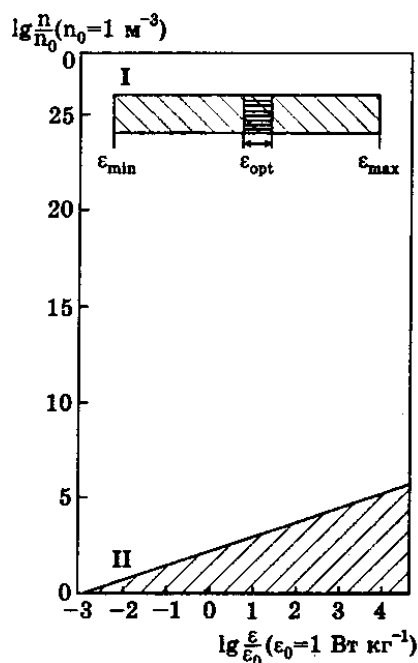


Рис. 1. Организация физических и живых систем в зависимости от плотности поглощаемой системой энергии: ось ординат — десятичный логарифм плотности числа ячеек памяти (степеней свободы) на единицу объема (m^3) физических систем (II) и единицу метаболически активного объема (m^3) биологических (экологических) систем (I). Ось абсцисс — десятичный логарифм мощности внешней энергии ϵ , потребляемой единицей массы системы ($Вт\ кг^{-1} = м^2\ сек^{-3}$). Области, занимаемые физическими (I) и биологическими (II) 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 [4].

Сплошная 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 [3]). Характеристики всех прочих естественных самоорганизованных физических процессов в окружающей среде по оценкам авторов не выходят за пределы заштрихованного треугольника.

Отметим, что при продолжении линии физической самоорганизации вправо последняя достигнет значений упорядоченности, характерных для живых систем, при плотностях энергии, больших 10^{32} $Вт\ кг^{-1}$. Очевидно, что при таких мощностях никакие устойчивые молекулярные структуры, необходимые для возникновения жизни, образоваться не могут.

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 (см. рис. 1). Поэтому количество информации и величины их потоков в живой и неживой природе раз-

личаются более, чем на 20 порядков. Это приводит к кардинальным различиям процессов самоорганизации в живой и неживой природе, которым до сих пор уделяется недостаточное внимание.

Характер и течение всех процессов физической самоорганизации полностью определяется подводимым к системе внешним потоком энергии, в рассматриваемом случае, солнечным излучением, а также особенностями окружающей среды, где эти процессы происходят. Прекращение или изменение внешних потоков энергии приводит 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 изменять окружающую среду направленным образом, ни управлять ею (ср. далее).

4. ИНФОРМАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Биологические системы — живые организмы и их сообщества, накапливающие информацию на молекулярных ячейках памяти генома — макромолекул ДНК, не имеют порога накопления этой информации. Живые системы в процессе своей эволюции накопили столь большой запас информации, что определяемые этой информацией высокоорганизованные процессы жизни не могут ни спонтанно генерироваться, ни поддерживаться никакими потоками внешней энергии. Это хорошо известно со времен Пастера, доказавшего невозможность самозарождения жизни в любых условиях. Другим подтверждением этого же свойства является наблюдаемый 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 — основано на новом принципе, не имеющем места в системах физической самоорганизации. Этот принцип состоит в образовании популяции особой идентичных биологических систем, включении конкурентного взаимодействия между особями и выбраковке и исключении из популяции распадных особей с частично стертой генетической информацией. Способность нормальных особей к самовоспроизвод-

ству позволяет восполнить образовавшиеся вакансии и обеспечить стабильность численности популяций.

Уровень организации живых систем не зависит от потребляемых ими внешних потоков энергии (рис. 1). Поэтому у жизни появилась возможность управления условиями окружающей среды, т. е. возможность изменять эти условия, поддерживая 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 [5].

Можно утверждать, что отделение живой природы от неживой произошло в тот момент, когда жизнь накопила достаточно генетической информации для того, чтобы начать генерировать процессы, не зависящие от условий окружающей среды и потребляемого питания. 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 и процессы эволюции жизни, связанные с дальнейшим изменением и накоплением генетической информации.

Следует отметить, что величина накопленной в жизни информации так далеко оторвалась от величин информации, поступающих в нее с потоками питания, что последние никак не влияют на первую. На протяжении времен, 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 эквивалентно 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 информации 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 никаким 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 никогда 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.

5. ИНФОРМАЦИЯ БИОТЫ И ЦИВИЛИЗАЦИИ

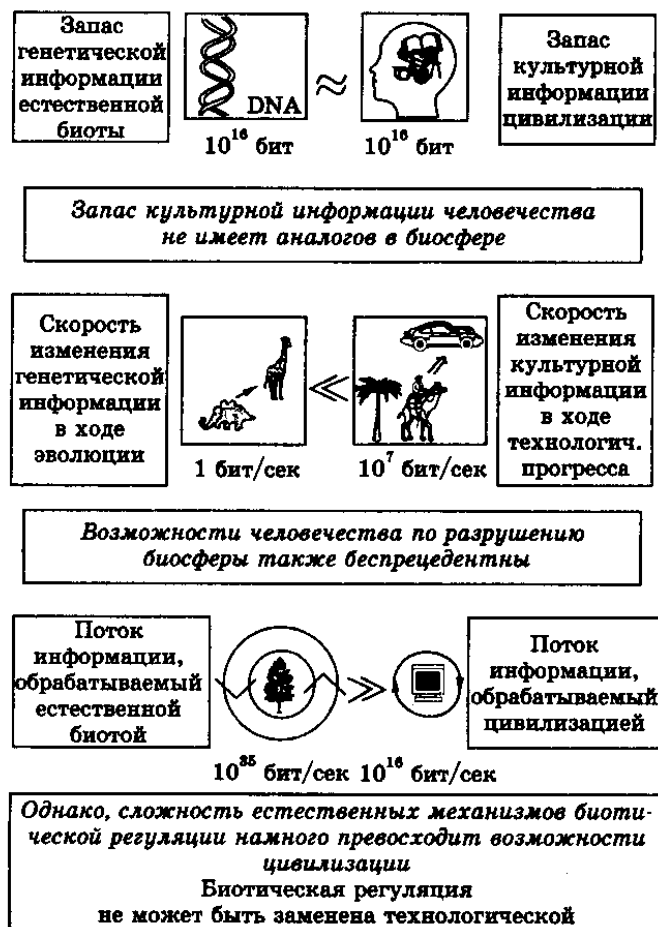
Управление окружающей средой наиболее отчетливо проявляется во всех человеческих цивилизациях. Осваивая новые территории, человек стремился привести окружающую среду в них в оптимальное для себя состояние. Он вырубал леса, превращал освободившиеся территории в пашни и пастбища, осушал болота, строил 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 [4], 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 в пределах от 10°C до 20°C и основная часть гидросферы находилась в жидкой фазе в океанах. Наблюдаемая устойчивость земного климата однозначно указывает на то, что нарушенная биота Земли была способна обеспечивать эту устойчивость на протяжении неограниченного периода времени.

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 (см. рис. 2). 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 (рис. 2). Это связано с тем, что биота использует молекулярные ячейки памяти в каждой живой клетке. И 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 [4]. 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

1. Горшков В. Г. Запасы и потоки информации в биоте и цивилизации // ДАН 1996.— т. 350.— № 1.— С. 135–138.
2. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K., Self-organized criticality: an explanation of $1/f$ noise // *Phys. Rev. Lett.* 1987.— V. 59.— P. 381–384.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Механика сплошных сред*. М.: ГИТТЛ, 1954.
4. Gorshkov V. G., Gorshkov 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.
5. Горшков В. Г., Горшков В. В., Макарьева А. М. Биотическая регуляция окружающей среды // *Экология и образование*. 1999.— № 1/2.— С. 11–18.

Рис. 2. Важнейшие информационные характеристики биоты и современной цивилизации

Материал поступил в редакцию 14.03.2001