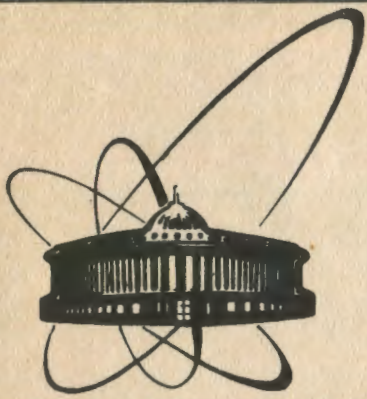


91-9



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P19-91-9

В. И. Корогодина, Ч. Файси, Ю. А. Кутлахмедов *

ДИНАМИКА ИНФОРМАЦИИ

*Институт ботаники им. Н. Г. Холодного АН УССР, г. Киев

I. Введение

В работе /1/ мы предложили различать понятия "Информация" и "Информационная тара", выступающая в роли ее носителей. В работах /2,3/ были изложены представления об информации как о "руководстве к действию", т.е. как о совокупности знаков, сигналов или символов, которые могут быть использованы в качестве алгоритма для оператора, способного такое действие совершать.

Целенаправленное действие можно описать как

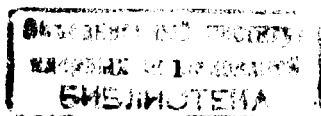
$$R[S] \xrightarrow[\rho, P]{Q(I)} Z + W, \quad (I)$$

где R - ресурсы окружающей среды S , требующиеся для такого действия; Q - оператор, это действие производящий и использующий информацию I ; ρ и P - вероятности осуществления "события цели" Z без данного оператора и при его участии; W - "побочный продукт" достижения цели. Рассмотрев свойства информации, а также компоненты и характеристики целенаправленного действия, мы предположили, что "коэффициент полезного действия оператора" КПД $_Q$ пропорционален эффективности информации $E = \frac{C}{B}$, где B и C - ее количество и ценность. Все это и создало предпосылки для анализа динамики информации.

Центральное место, занимаемое информацией в целенаправленном действии, позволило нам утверждать, что в природе все объекты, способные совершать такие действия, должны обладать информацией. Это означает, что информация является прерогативой только живых организмов. Следовательно, закономерности динамики информации должны иметь прямое отношение к закономерностям изменчивости и эволюции живой природы. Эта статья и посвящена рассмотрению основных особенностей динамики информации.

2. Информация и универсальный автомат фон Неймана

Чтобы лучше выявить связь между информацией и живыми объектами, рассмотрим блок-схему универсального автомата фон Неймана /4/ - такого автомата, который на основании содержащейся в нем информации способен построить любой автомат, в том числе и дублировать самого себя.



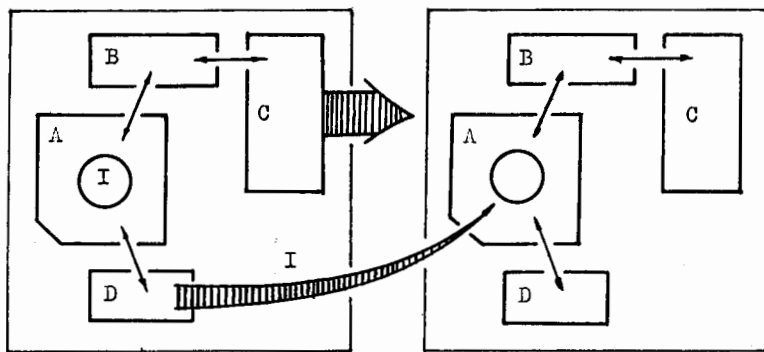


Рис. I. Блок-схема универсального автомата фон Неймана.
Пояснения в тексте.

Автомат фон Неймана представляет собой совокупность четырех блоков (рис. I). Блок А содержит некоторую информацию I (описание некоторого автомата и способа его построения). Блок В считывает эту информацию и на ее основе регулирует деятельность двух следующих блоков. Блок С воспринимает "команды" блока В и, в соответствии с ним, строит из ресурсов окружающей среды все четыре блока автомата следующего поколения. Блок Д в определенный момент времени, по команде блока В, изготавливает копию информации I и вводит ее в блок А дочернего автомата.

Фон Нейман доказал, что только такой автомат способен к самовоспроизведению. Информация I рассматривалась им как фактор, необходимый для обеспечения этой деятельности автомата. "Ошибки" в работе блока Д, копирующего информацию, если не таковы, чтобы иметь губительные последствия, будут приводить к изменениям в деятельности блока С автоматов второго поколения и, в соответствии с этим, изменениям структур и функций автоматов третьего поколения. Автомат фон Неймана, таким образом, может не только самовоспроизводиться, но и эволюционировать.

Однако с равным успехом автомат фон Неймана можно рассматривать как устройство, предназначенное для воспроизведения кодирующей его информации I, т.е. как оператор Q в раскрытом ранее смысле /2/ для этой специальной цели $Z = I$. Тогда эволюция автомата будет отражать эволюцию кодирующей его информации.

Сказанное выше хорошо согласуется с представлениями, развитыми Г.Меллером /5/ задолго до начала "информационной эры". Хотя автомат фон Неймана не получил пока что технического воплощения, его можно рассматривать как блок-схему живых организмов - природных самовоспроизводящихся информационных систем. При этом в общем случае структура операторов

и свойства блоков могут отличаться от структуры автомата фон Неймана. Блок В может получать часть информации I также извне, с других носителей информации. Более того, блок А может вообще отсутствовать. Блок С может производить и другие операции или даже только другие операции, не связанные с изготовлением автоматов. Блок Д может быть способен делать копии поступающей информации I даже без прочтения ее блоком В и реализации блоком С. Или же блок Д может отсутствовать.

Нам известно три типа природных информационных систем, в соответствии с тремя видами информации, программирующей их деятельность. Это живые клетки и организмы, лишенные нервной регуляции; многоклеточные животные с развитой нервной системой и хорошо выраженными поведенческими реакциями; и, наконец, человек, - точнее, человеческие сообщества, - деятельность которых базируется на обобщенном человеческом знании. Для каждой из этих систем можно выделить соответствующие блоки, а также характерные для них виды информации, ее носителей и операторов.

Начнем с лишенных нервной системы живых организмов (вирусы, бактерии, простейшие, грибы, растения). Блок А здесь - ядро клетки, содержащее генетическую информацию. Носителями такой информации служат молекулы нуклеиновых кислот (ДНК и, реже, РНК), в которые она "вписана" триплетным кодом из четырех букв-оснований. Блоком В служат системы регуляции генной активности, РНК-полимеразы и рибосомальный аппарат синтеза белка, которые обеспечивают слаженное функционирование негенетического (цитоплазматического, соматического) комплекса структур клеток и организмов - блока С. Блок Д представлен системой ферментов и структур, обеспечивающих репликацию носителей генетической информации и передачу их копий в дочерние клетки.

Все эти четыре блока в полной мере сохраняют свое значение и для других групп организмов, лишь видоизменяя свою структуру и способы функционирования.

Так, у животных с развитой нервной системой, в жизнедеятельности которых важная роль принадлежит поведенческим реакциям, строение нервной системы генетически запрограммировано так, что, помимо автоматического выполнения ряда функций жизнеобеспечения, она может осуществлять и совершенно новые функции - создания, восприятия, хранения и использования нового вида информации. Такая поведенческая информация отчасти хранится в определенных структурах нервных клеток (инстинкты, безусловные рефлексы, - блок А), отчасти поступает извне. Она, в отличие от генетической информации, может накапливаться в нервной системе животного в ходе жизненного опыта и восприниматься (путем подражания или научения) от других организмов /6/. Воспринимают и интерпретируют такую информацию органы чувств и вся нервная система (блок В), а соответствующие дей-

ствия выполняет тело (блок С). Копирование же части поведенческой информации происходит при участии генетической информации (наследственные структуры нервной системы), а другой части - при помощи подражания и научения.

Нервная система, таким образом, является как бы главной частью системы, обслуживающей новый, иерархически более высокий, вид информации. Правда, нервная система не может воспроизводить сама себя, - это обеспечивается оператором нижележащего, генетического, уровня, - но никаких принципиальных изменений в блок-схему автомата фон Неймана это не вносит. Сама поведенческая информация, однако, по сравнению с генетической представляет собою принципиальную новизну, ибо она объединяет способных ее обмениваться индивидов (представителей одной популяции, стаи или стада и даже представителей разных видов в одном ценозе) как бы в единое информационное целое, информационную систему второго порядка, где данный вид информации может распространяться не только по вертикали (как генетическая информация), но и по горизонтали, в одной временной плоскости.

Заметим, что как генетическая, так и поведенческая информация непосредственно объединены с неинформационными структурами живых организмов и в природе не могут быть переведены на другой язык или переданы на другие носители, хотя то и другое успешно делает человек при изучении генотипов организмов и элементов их поведения. Однако достаточно было в ходе эволюции произойти некоторым изменениям генетически детерминированного строения нервной системы, чтобы некоторая доля заключенной в ней информации получила возможность "вырваться на свободу", обретя существование на носителях, независимых от источника информации и не связанных непосредственно с отдельными живыми индивидами /7/. Так возникла человеческая речь, устная, а затем и письменная, а вместе с ней - новый вид информации - человеческое знание. Назовем эту информацию логической. Таким образом, в начале человеческой истории было Слово.

Становление логической информации сопровождалось включением в информационный процесс все новых видов носителей, существующих независимо от отдельных людей и лишь используемых ими с этой целью. Некоторые из таких носителей (колебания воздуха, электромагнитные волны) отличаются эфирностью и служат лишь для передачи информации, другие (различные виды записи) обладают достаточной стабильностью и используются также для ее хранения. Со временем для этих целей все шире стали применяться искусственные устройства, породившие в прошлом веке технические системы связи.

Одновременно шел и другой процесс. Теперь информация могла реализовываться не только операторами, непосредственно связанными с ее носителями (негенетические компоненты организмов, разные формы поведения),

но и имеющими независимое от них существование. Это - всевозможные произведения "рук человеческих" и, прежде всего, орудия труда в самом широком смысле, эволюция которых привела к современным технологиям. По существу как отдельные элементы технологий, так и весь общечеловеческий технологический комплекс можно рассматривать в качестве операторов, специфических для логической информации. "Жизнеспособность" фрагментов такой информации определяется применимостью и эффективностью основанных на ней элементов технологий. Информация погибала, если переставала использоваться ("утраченные технологии"), продолжала существовать и развиваться, когда оставалась включенной в "трудовую деятельность".

Генетическая и поведенческая информация представлены в природе множеством вариантов, нередко разного генезиса. В отличие от них логическая информация в ходе своего развития быстро превращается в глобальный "банк данных", в единый информационный пул, впитывающий в себя все новые сведения и открытый для использования любому сообществу людей. На основе этого информационного пула идет бурный техногенез, быстро приобретающий глобальный характер. Человечество все более консолидируется в единую информационную систему, где отдельные люди и их сообщества становятся узлами общей информационной сети и глобальных технологий, охватывающих весь земной шар. Но в основе функционирования отдельных людей, как и прежде, лежит их биологическая природа, задаваемая генетической информацией, и структура нервной системы со всей содержащейся в ней поведенческой информацией.

Описанный выше процесс, однако, также не выходит за рамки блок-схемы автомата фон Неймана. Сохраняются все те же четыре блока: блок хранения логической информации А, блок ее считывания В, блок ее реализации в операторы в виде элементов технологий С и блок размножения и передачи информации Д. В рамках этой блок-схемы и происходит эволюция всех природных информационных систем - живых организмов, их популяций и человеческих сообществ. Хотя в последнем случае многие функции оператора уже переданы техническим системам (различные машины), полный "машинный оператор" пока существует лишь в произведениях писателей-фантастов.

3. Факторы эволюции информации

Попытаемся теперь выявить факторы, определяющие направления эволюции информации.

Тот факт, что информация может существовать, лишь будучи зафиксированной на некотором носителе, а размножаться - лишь с помощью оператора /3/, позволяет утверждать, что даже простейшие варианты информации могли существовать лишь в форме информационных систем. Это, конечно, не мешает

представить себе некоторую "прародительскую" информацию в виде достаточно крупной молекулы, например, молекулы РНК, или макромолекулярных агрегатов типа гиперциклов М.Эйгена /8/, совмещающих в себе функции всех четырех блоков автомата фон Неймана, - т.е. способных, в зависимости от ситуации, осуществлять то гетерокатализ, то аутосинтез. Однако не будем рассуждать на тему о происхождении информации - "истоки всегда теряются" /9/. Для наших целей в качестве исходного достаточно допустить существование некоторого элементарного информационного объекта (элементарного автотрофного организма), способного воспроизводить себя в элементарном пространстве режимов (экологической нише), где не содержится ни одного компонента биогенного происхождения. Размерность такого пространства режимов, равная числу входящих в него компонентов, необходимых и достаточных для воспроизведения элементарного организма, - или, что здесь то же самое, кодирующей его информации, - по определению должна быть минимальной ($\chi_1 = \min$).

Пусть такой элементарной экологической нише S_1 соответствует некоторое "информационное поле" (рис.2), представляющее собой часть поверхности с координатами (В,Е), ограниченную сверху оптимальной кривой Е/В

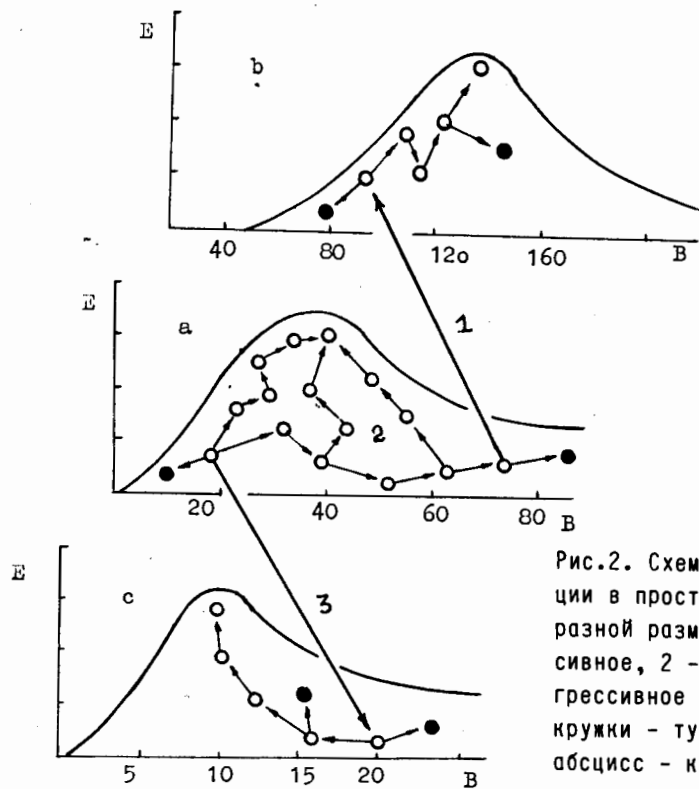


Рис.2. Схема динамики информации в пространствах режимов разной размерности. 1 - прогрессивное, 2 - адаптивное, 3 - регрессивное развитие. Черные кружки - тупики эволюции. Оси абсцисс - количество информации, оси ординат - эффективность информации, усл.ед.

/2,3/. Внесем в это информационное поле элементарный организм, способный размножаться в данных условиях. В ходе размножения информация и кодируемые ею операторы могут изменяться *, и наша ниша будет постепенно заселяться информацией, различающейся по количеству В, ценности С (в данных условиях) и эффективности Е (рис.2а).

Введем теперь некоторый "критерий значимости", определяющий преимущественное размножение одних вариантов информации по сравнению с другими. Хотя такие критерии могут быть разными /10/, ограничимся для простоты эффективностью использования ресурсов данной экологической ниши, т.е. величиной Е, определяющей коэффициент полезного действия оператора КПД_Q /3/. Тогда информационное поле будет все плотнее заселяться информацией с близкими к оптимальным значениями В, тяготеющей к экстремуму Е*.

С ростом плотности заселения элементарной экологической ниши в ней будут все более накапливаться побочные продукты W_1 - продукты жизнедеятельности элементарных организмов, а также все более истощаться ресурсы R_1 . Накопление W_1 , часть которых, в принципе, может быть использована живыми организмами, представляет собой, по существу, формирование новых экологических ниш, содержащих уже компоненты биогенного происхождения, - экологических ниш второго яруса (S_2), отличающихся от исходных большей размерностью ($\chi_2 > \chi_1$). Истощение ресурсов и связанное с этим возрастание конкуренции будут оттеснять объекты со значениями $E < E^*$ на периферию исходного пространства режимов. Здесь их может ожидать разная судьба. Некоторые из них будут погибать, не выдержав конкуренции, а их информация - бесследно исчезать. Другие, в силу полипотентности информации или ее изменчивости /3/, смогут переходить в соседние экологические ниши, - это будет процесс заселения и разработки все новых элементарных экологических ниш. Возможен, конечно, и такой вариант, особенно для информации с $B > B^*$, что она окажется способной "разрабатывать" не одну, а большее число элементарных экологических ниш, - "зона обитания" ее будет расширяться, оставаясь на исходном ярусе жизни. Наконец, некоторые элементарные организмы, преимущественно с $B > B^*$, могут оказаться способными осваивать потенциальные экологические ниши второго яруса. Попадая в такие ниши, они будут размножаться и испытывать превращения, аналогичные предыдущим (рис.2б).

* Вообще говоря, для любой информации возможны четыре формы изменчивости: выпадение, вставка или замена отдельных букв; рекомбинация, т.е. обмен фрагментами текста между разными информациями; дробление исходной информации на два или более фрагмента; объединение двух или большего числа исходных информации в единый текст. Изменчивость информации, таким образом, проявляется в изменениях как ее количества, так и семантики, т.е. всех трех характеристик - В, С и Е.

Третий вариант представляет особый интерес. Предпосылкой для его рассмотрения является утверждение, следующее из алгоритмического определения информации /II/: чем сложнее ситуация (измеряемая ее размерностью), тем сложнее должен быть устроен оператор, способный в этой ситуации успешно функционировать, и тем больше требуется информации для его кодирования. Поэтому оптимальное количество информации V^* , выступающее как вектор ее эволюции в данном информационном поле, должно возрастать вместе с увеличением размерности соответствующих пространств режимов. Осваивая потенциальные экологические ниши второго яруса, информация не только получает возможность эволюционировать в направлении увеличения ее количества (т.к. $V_2 > V_1$), но будет также трансформировать эти ниши путем поглощения их ресурсов W_2 и обогащения побочными продуктами W_2 , формируя тем самым потенциальные экологические ниши третьего яруса. Этот процесс может продолжаться и далее, вплоть до возникновения некоторой глобальной потенциальной экологической ниши, включающей все нижележащие ярусы и обладающей максимально возможной размерностью. Заселяющие такую "супернишу" объекты с максимальным количеством информации V_{max} будут размещаться на высшем ярусе, как бы венчая собой "древо жизни".

Таким образом, информация, размножаясь с помощью операторов и видоизменяя, в ходе их деятельности, исходное пространство режимов, сама создает условия, предопределяющие ее развитие в направлении все большего возрастания ее количества V . Этот автогенез информации, сопровождающийся возникновением все большего числа экологических ниш все большей размерности, будет создавать многоярусность жизни. Другая сторона этого процесса - формирование биоценозов, состоящих из организмов, тесно спаянных многосторонними трофическими связями. На нашей Земле это проявилось с максимальной полнотой в формировании биосферы.

Тот факт, что для каждой экологической ниши существует свое максимальное значение E^* , лишает смысла вопрос о связи между "биологическим прогрессом" и "степенью приспособленности" живых организмов к среде обитания. На каком бы ярусе жизни организмы не располагались и какие бы экологические ниши они не занимали, они могут быть в равной мере максимально к ним приспособлены, если кодирующая их информация уже приблизилась к максимальному значению E^* . Степень приспособленности к своим экологическим нишам не может быть мерилем прогресса. Можно, однако, предложить другой критерий прогрессивного развития, хорошо соответствующий обыденному о нем представлению, - это возрастание количества информации при условии сохранения ее оптимальности /2/. В пределах отдельных экологических ниш оптимизация информации может осуществляться даже путем сброса ее части (если $V > V^*$), освобождения от некоторого избыточного или балластного ее количества /I2/. Из этого следует, что внешняя возможность для прогрессивного

развития информации определяется только одним фактором: наличием потенциальных экологических ниш со все более возрастающей размерностью, когда $V_1 < V_2 < V_3 < \dots$. Увеличение эффективности информации при сохранении ее количества можно называть адаптивным направлением развития, что наблюдается, например, при переходе из одной экологической ниши в другую такой же размерности ($V \approx const.$). Уменьшение количества информации при адаптации к экологическим нишам меньших размерностей (когда $V_1 > V_2 > V_3 > \dots$) может служить примером биологического регресса (рис.2в), связанного, в частности, с переходом к паразитарному образу жизни.

4. Становление биосферы и техногенез

Рассмотрим, как связаны изложенные выше представления с проблемой численности слагающих биоценозы популяций и количеством их биомассы.

Любые организмы могут существовать и участвовать в биогенезе лишь при условии, что скорость их размножения v превосходит скорость их естественного отмирания w . Отношение

$$L = \frac{v}{w} \quad (2)$$

можно назвать "давлением жизни", которое противостоит "давлению внешней среды", приводящему к возрастанию смертности (по сравнению с "естественной") в результате различных неблагоприятных воздействий.

Отсюда следует, что не только $L < I$, но и $L = I$ обрекает данную группу организмов (популяцию, вид) на гибель, ибо любые флуктуации пространства режимов, увеличивающие величину w , могут стать для них роковыми. Только соотношение $L > I$ может гарантировать данным организмам существование или процветание. С другой стороны, излишне большая величина $L \gg I$ будет приводить к перенаселению ареала обитания таких организмов, а это чревато истощением ресурсов R , усилением конкуренции за территорию и т.д., что сопровождается возрастанием w и уменьшением L . Поэтому в реальных условиях, при $L \geq I$, численность популяций все время колеблется около некоторого среднего значения ("волны жизни" по С.С.Четверикову /I3/), не выходя за определенные минимальные и максимальные значения.

Размножение любых организмов всегда сопровождается накоплением в среде их обитания "побочных продуктов" W . В биогеохимическом отношении /I4/ это представляет собой обогащение среды биогенными компонентами. В случае обитателей элементарных экологических ниш - это продукты трансформации неорганического вещества Земли в вещество органического происхождения. Но наработка W может идти лишь до некоторого предела: ни

одно живое существо не может обитать в среде, перегруженной отходами его жизнедеятельности. Поэтому вторым условием существования организмов является достаточно эффективное кондиционирование среды их обитания или ее самоочистка, когда

$$\frac{dW}{dZ} \leq \omega \quad (3)$$

где ω - кондиционирующая емкость данной среды обитания.

Возможны два пути кондиционирования - пассивный и активный. Но пассивный путь - разбавление, химическая нейтрализация и т.п. - имеет постоянную скорость и не будет поспевать за геометрическим увеличением численности популяций при освоении организмами новых экологических ниш. Этот путь неизбежно имеет предел, кладущий ограничение их численности. Но, как мы уже видели, накопление W может приводить также к возникновению потенциальных экологических ниш более высоких ярусов жизни, так же как и новых экологических ниш для организмов таких же или нижежащих ярусов. Осваивая такие экологические ниши, их обитатели будут тем самым усиливать кондиционирующую емкость ω среды (активный путь), способствуя размножению заселявших ее ранее организмов, что, в свою очередь, приведет к увеличению их собственной численности.

Нетрудно видеть, что все сказанное выше имеет смысл лишь при ограниченности размеров реальных экологических ниш (или зон обитания). Это - важнейший фактор эволюционного процесса. Если бы элементарные экологические ниши были безграничны, населяющие их организмы продолжали бы безгранично размножаться, их изменчивость приводила лишь к ускорению этого процесса /15/, продукты их жизнедеятельности нейтрализовались пассивным путем и следующие ярусы жизни не на чем было бы строить. Если же такие зоны слишком малы, а число их обитателей недостаточно велико, чтобы могла "удачно сработать" генетическая изменчивость, они вымирали бы от перенаселения, отравленные продуктами своей жизнедеятельности раньше, чем успел бы сформироваться следующий ярус жизни. Следовательно, чтобы жизнь на Земле могла бы не только возникнуть, но и развиваться, "жизнеспособность" элементарных экологических ниш должна соответствовать требованию оптимальности. Около четырех миллиардов лет назад на участках земной поверхности, соответствующих этим требованиям, и начали складываться первичные биоценозы с иерархическим строением. Число слагающих их видов и усложнение трофических связей со временем только возрастало.

Стабильность биоценозов была тем выше, чем больше компонентов в них входило: трофические аналоги никогда не тождественны друг другу, а их различия лишь сильнее "забуферивают" всю систему, делая ее надежнее, устойчивее к случайным колебаниям внешних условий. Но вот что важно: какое бы ни было разнообразие таких ценозов, их суммарная биомасса полностью

определялась интенсивностью жизнедеятельности первичных продуцентов - обитателей первого яруса, трансформирующих абиогенные компоненты среды в живое вещество и продукты его метаболизма.

В развитии биосферы можно выделить два периода, характеризующихся количеством вещества, включенного в биологический круговорот: период нарастания биомассы, занявший, по-видимому, около одного миллиарда лет, и относительно стационарный период, продолжающийся до сих пор.

В течение первого периода происходило нарастание числа различных продуцентов и консументов, что сопровождалось ускорением круговорота веществ в живой природе. Важнейшим завоеванием этого периода было "изобретение" фотосинтеза, что привело к трем последствиям: захвату последних пригодных для жизни участков Земли; возникновению кислород-содержащей атмосферы; созданию новой чрезвычайно богатой энергетически-пищевой базы для дышащих кислородом организмов. В этот период произошло полное освоение суши высшими растениями и стабилизация газового состава атмосферы.

Характерной чертой второго периода был расцвет позвоночных, увенчавшийся возникновением млекопитающих и, около сорока миллионов лет назад, появлением человека.

Две особенности второго периода биогенеза особенно важны.

Во-первых, это то, что суммарная биомасса обитателей Земли на всем его протяжении оставалась практически постоянной. Биогенез сопровождался лишь расчленением и проторением новых путей для восходящих и нисходящих потоков вещества в биосфере, что обуславливалось изменениями и возрастанием видового разнообразия слагающих биосферу ценозов. "Движущей силой" этого периода было возрастание надежности таких ценозов, а вместе с этим - и стабильности биосферы в целом.

Во-вторых, - это ярко выраженное ускорение прогрессивного развития информации, сопровождающееся увеличением видового разнообразия организмов, преимущественно высших растений и животных. В царстве животных это привело к цефализации у самых разных их представителей, особенно у позвоночных, вплоть до появления приматов и человека /16/. В основе этого процесса лежало как появление потенциальных экологических ниш все большей размерности, так и увеличение количества генетической и поведенческой информации, обеспечивающее возможность освоения таких ниш.

Можно думать, что скорость нарастания количества информации и ее разнообразия увеличивается пропорционально ее исходному количеству V . Это почти с неизбежностью следует из известных нам механизмов ее изменчивости. Однако возрастание количества информации в ходе биологического прогресса неизбежно сталкивается с ограничениями в виде "надежности" ее носителей. На примере генетической информации было показано /17/, что количество ДНК для каждой из четырех основных форм структурной организа-

ции генома * не может превышать некоторого критического значения из-за быстрого нарастания нестабильности генетических структур. Количество генетической информации для каждого кариотаксона ограничено "потолком" информационной емкости ее носителей. Преодолению таких пределов в ходе эволюции всегда предшествовало возникновение новой структурной организации генома с более высокой надежностью. А когда не нашлось путей для дальнейшего увеличения информационной емкости носителей генетической информации, возникла поведенческая, а далее логическая информация.

Максимально возможная емкость носителей данной природы всегда ограничивает сверху то количество информации, которое в них может содержаться. Поэтому "овладение" информацией новыми носителями все большей надежности, а следовательно, и все большей информационной емкости - необходимое условие ее прогрессивного развития. Только с "изобретением" логической информации были найдены, кажется, носители неограниченной емкости.

Мы уже отмечали, что биологический прогресс связан не с возрастанием "степени приспособленности" информационных объектов (это происходит постоянно на всех ярусах жизни), а с увеличением размерности пригодных для разработки экологических ниш. При этом заселение все более высоких ярусов жизни никогда не сопровождается уничтожением нижележащих, что было бы равносильно самоуничтожению. Напротив, всегда происходило их укрепление, повышение их надежности, проявляющееся в смене или обогащении их видового состава, в увеличении числа трофических аналогов /18/. Ведь только процветание продуцентов биогенных ресурсов может обеспечить успешное существование их потребителей, занимающих более высокие ярусы жизни, а надежность сообществ консументов - защитить вышележащие ярусы от самоотравления продуктами их жизнедеятельности.

Это означает, что численность каждого из видов, слагающих биосферу, а в рамках ценозов - каждой популяции, есть величина ограниченная. Ограничений таких три: общая биомасса обитателей биосферы или биоценоза; число и мощность трофических потоков; число трофических аналогов. Все эти три фактора задают среднее количество биомассы (и, следовательно, численность индивидуумов), приходящейся на каждый трофический аналог. Возрастание численности какого-либо вида (или популяции) сверх некоторого оптимального значения возможно лишь за счет уменьшения численности его трофических аналогов, что чревато их исчезновением из ценоза и уменьшением надежности этого ценоза.

* Все живые организмы можно разделить на четыре кариотаксона, различающиеся по структурной организации их генетического аппарата: однонитевые молекулы РНК или ДНК; двунитевые молекулы ДНК; двунитевые молекулы ДНК, организованные в хромосомы; два или более наборов хромосом в одном ядре.

Такая детерминированность численности популяций и их видового разнообразия является одним из фундаментальных условий нормального функционирования биосферы.

Сказанное выше целиком приложимо и к человеческой популяции.

Характерной особенностью человека, как биологического объекта, была возможность использовать для самовоспроизведения очень разнообразные внешние условия, черпая ресурсы из нижележащих экологических ниш. Это очень расширяло ассортимент потенциальных экологических ниш, пригодных для его обитания, весьма быстро заселявшихся первобытными людьми. Это был экстенсивный период развития человечества, когда "в полную силу" реализовывались его генетическая и поведенческая информация, а логическая информация лишь начинала формироваться. Особенности поведенческой информации ограничивали численность человеческих популяций не в меньшей мере, чем экологические факторы, и человек продолжал вписываться в биоценозы как один из их компонентов, т.е. в меру выполнения определенных трофических функций. Надежности биоценозов это не угрожало.

Следующий период развития человека можно считать переходным к использованию технологий - операторов логической информации. Первоначально технологии использовались человеком, вероятно, в виде примитивного оружия против его экологических конкурентов - трофических аналогов. Это - период уничтожения или изгнания из своих ареалов обитания хищников и других пищевых конкурентов, что позволяло увеличиваться численности человеческих популяций уже за счет его трофических аналогов. Биоценозы, заселенные человеком, сохранялись, но их видовое разнообразие уменьшалось, что сопровождалось уменьшением их надежности.

Зарождение технологий, все более развивавшихся с ростом количества логической информации, ознаменовало начало нового, интенсивного, этапа развития человечества, продолжающегося до сих пор. Это - период замещения необходимых для жизнеобеспечения человека компонентов биоценозов их технологическими аналогами: диких животных и растений - культурными, пещер - хижинами и т.д. Результатом явилось возрастание численности людей сверх ограничений, налагаемых биологическими закономерностями, и сопутствующее этому разрушение природных биоценозов.

Таким образом, человек смог преодолеть границу, поставленную биосферой его численности. Вырваться за пределы таких ограничений ему позволили только технологии. С ростом информации, их кодирующей, и развитием технологий численность людей быстро пошла вверх. Средство для этого - замена природных поставщиков ресурсов их технологическими аналогами, вплоть до замены углеводов растительного происхождения, как источников энергии, продуктами культурного земледелия и животноводства, энергией ископаемого топлива, гидро- и атомных электростанций. Плата за такой про-

гресс - разрушение биоценозов, уменьшение надежности биосферы. Биоценозы, кондиционирующие отходы своих природных компонентов, уже не могли справиться с отходами технологической экспансии человека.

Мощность любой технологии можно выразить в ее энергоёмкости ϵ . Учитывая, что нижележащие ярусы биосферы по своей биомассе сильно превосходят вышележащие, естественно ожидать, что, по мере замены биологических компонентов "фундамента жизни" человека их технологическими аналогами, энергоёмкость технологий, в расчете на одного жителя Земли, должна быстро возрастать. Как мы знаем, это и происходит. Как заметил еще В.И.Вернадский /14/, по масштабам геологической деятельности техногенез давно сопоставим с биогенезом.

Конкуренция техногенеза с биосферой порождает естественные опасения за состояние окружающей нас природы. Призывы Римского клуба стабилизировать техногенез и численность людей противоречат биологической природе человека ($I > I$) и потому нереальны. Скорее всего, дальнейшее развитие жизни пойдет по другому пути, намеченному еще В.И.Вернадским /19/, - по пути формирования "автотрофного человечества".

Надо ясно понимать, что это - не фантастический и не насильственно навязываемый, а уже давно реализуемый путь все более планомерной замены технологическими аналогами различных биологических компонентов биосферы, вплоть до технологизации "базы жизни" - производства продуктов жизнедеятельности автотрофных бактерий и растений. Только этот путь позволит, по мере дальнейшего роста логической информации, разрабатывать технологии жизнеобеспечения все растущей человеческой популяции и на самой Земле, и за ее пределами.

5. Обсуждение

В заключение обсудим два вопроса: о возможных естественных пределах развития автотрофности человечества и о возможных прогнозах.

Пределы продвижения человека по пути к автотрофности могут быть обусловлены двумя факторами: пределом накопления необходимой для этого информации и "побочными продуктами" развития технологий.

Предела накопления количества логической информации сейчас не видно. Более того, все новые средства ее хранения, методы ее обработки и новые виды носителей не позволяют пока наметить возможных ограничений для ее продолжающегося накопления. Что же касается "побочных продуктов" техногенеза, то здесь вырисовывается по меньшей мере два аспекта: загрязнение окружающей среды отходами производства и аварии на таких производствах, приводящие к экологическим катастрофам. Стремление справиться с первой опасностью реализуется в развитии "безотходных технологий", вклю-

чающих все большую долю "побочного продукта" W в категорию Z , т.е. в сам технологический процесс. В развитом виде безотходные технологии должны порождать нечто вроде техноценозов - иерархических совокупностей предприятий, использующих в качестве ресурсов побочные продукты друг друга. Это, конечно, существенно уменьшает техногенную нагрузку на окружающую среду. Однако с усложнением технологий и увеличением их мощности отнюдь не уменьшается вторая опасность - возникновение аварий и порождаемых ими экологических катаклизмов.

На основании самых общих соображений /20/ можно предполагать следующее (рис.3). Если "мощность" технологических объектов выражать в их

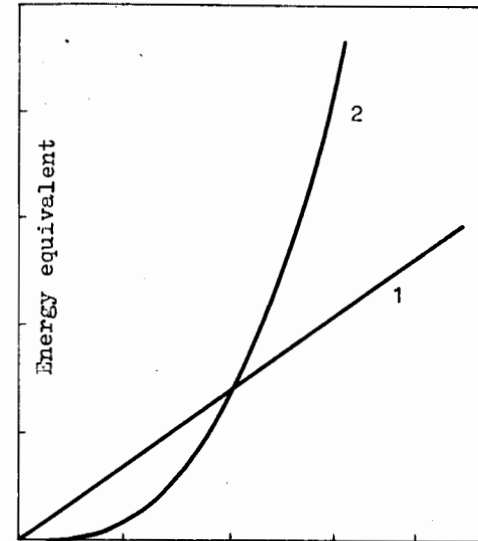


Рис.3. Схема зависимости выхода полезного продукта (1) и экологических последствий катастроф (2) от энергоёмкости технологий. Ось абсцисс - энергоёмкость технологий, усл.ед. Ось ординат - энергетический эквивалент выхода полезного продукта и экологических катастроф.

"энергоёмкости" ϵ , то их продуктивность, выраженная в таком же эквиваленте, будет возрастать прямо пропорционально этой величине, как $\epsilon_z \approx k \epsilon$ ($k < 1$). Возможные же последствия катастроф, приводящие к разрушению ок-

ружающей среды, выраженные в энергетическом эквиваленте затрат, требующихся для ликвидации этих последствий, будут возрастать как степенная функция: $\epsilon_w \approx \epsilon^n$ ($n > 1$), так что энергоёмкость последствий технологических катастроф с ростом ϵ будет приобретать все более разрушительные размеры. При условии $\epsilon_w \geq \epsilon_z$ энергоёмкость затрат на реализацию "безотходных" технологий, на предотвращение катастроф и на обеспечение "мер безопасности" от их возможных последствий может возрастать столь стремительно, что это положит естественный предел увеличения ϵ , даже если самих катастроф удастся избежать. Выход здесь просматривается один: замена единичных технологий с высокой энергоёмкостью эквивалентным числом технологий с малой энергоёмкостью. Учитывая свойство полипотентности информации, это представляется весьма реальным. Можно думать, что связь между количеством логической информации, энергоёмкостью кодируемых ею технологий и разрушительных последствий возможных катастроф заслуживает самого тщательного изучения.

Что же касается возможных прогнозов, то они практически исключены. Принцип поризма /2I/, который можно рассматривать как одно из следствий полипотентности информации, обещает нам непредвидимое будущее. Самые неожиданные, самые маловероятные последствия наших сегодняшних начинаний могут кардинальным, но негредсказуемым, образом изменить ход человеческой истории и связанного с ней биогенеза, в том числе роль и место человека в дальнейшем развитии информации и операторов, призванных ее воспроизводить.

Литература

1. Korogodin V.I., Fajszl Cs. *Int.J.Systems Sci.*, 1986, v.17, № 12, 1661.
2. Корогодин В.И. Биофизика, 1983, т.28, с.171.
3. Korogodin V.I., Fajszl Cs. *Int.J.Systems Sci.* (in press).
4. Фон Нейман Дж. Общая и логическая теория автоматов. В кн.: Тьюринг А. Может ли машина мыслить? Гос. изд. физ.-мат.лит., М., 1960.
5. Меллер Г. Избранные работы по генетике. Огиз-Сельхозгиз, М.-Л., 1937, с.148.
6. Морган Т.Г. Экспериментальные основы эволюции. Гос. изд. биол. и мед.лит., М.-Л., 1936.
7. Поршнева Б.Ф. О начале человеческой истории (Проблема палеопсихологии). "Наука", М., 1976.
8. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. "Мир", М., 1982.
9. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М., "Прогресс", 1965.
10. Печуркин Н.С. Энергия и жизнь. Новосибирск, "Наука", 1988.
11. Колмогоров А.Н. Пробл. передачи информации, 1965, т.1, с.3.
12. Шальнов М.И. Радиобиология, 1977, 17, с.652.
13. Четвериков С.С. Журн. экспер.биол., сер. А. 1926, т.2, с.4.
14. Вернадский В.И. Живое вещество. М., "Наука", 1978.
15. Серебровский А.С. Некоторые проблемы органической эволюции. М., "Наука", 1973.
16. Баландин Р.К. Время, Земля, мозг. Минск, "Высэйшая школа", 1979.
17. Корогодин В.И. Радиобиология, 1982, 22, с.147.
18. Камшилов М.М. Эволюция биосферы. М., "Наука", 1979.
19. Вернадский В.И. Автотрофность человечества. В кн.: Проблемы биогео-
20. Корогодин В.И., Кутлахмедов Ю.А. В сб. "Надежность экологических систем". Киев, Наукова думка, с.172, 1990.
21. Грязнов Б.С. "Природа", 1977, № 4, с.60.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 января 1991 года.