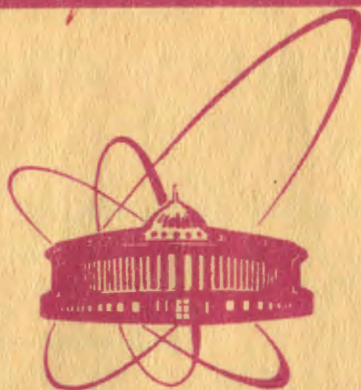


949/82

22/11-82



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

P19-81-513

В.И.Корогодин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ "ИНФОРМАЦИЯ"  
И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
В БИОЛОГИИ

Направлено в журнал "Биофизика"

1981

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Оптимистическое отношение к использованию теории информации в биологии, характерное для пятидесятих-шестидесятых годов<sup>1/</sup>, спустя двадцать лет сменилось разочарованием. Как отмечает Блюменфельд<sup>2/</sup>, "... большинство работ с применением теории информации в биологии носит тривиальный характер - хорошо известные факты и положения переводят на другой язык". Причина этого, по мнению Блюменфельда, - недостаточная разработанность понятия ценности, качества информации. Действительно, классическая /шенноновская/ теория информации рассматривает только вопросы, связанные с ее количеством<sup>3/</sup>. Можно даже сказать, что в основе шенноновской концепции лежат представления не столько о количестве с а м о й информации, сколько об информационной емкости "тары" - совокупности знаков или символов, предназначенных для ее передачи или хранения. Попытки обобщить шенноновское определение количества информации, сводившиеся к отождествлению информации с упорядоченностью<sup>4/</sup> или негэнтропией /т.е. энтропией, взятой с обратным знаком/<sup>5/</sup>, вряд ли можно назвать удачным: термодинамическая энтропия столь же далека от информационной энтропии /или энтропии сообщения/, сколь упорядоченность куска горной породы - от упорядоченности биологических систем. Поэтому нет ничего удивительного, что предложение Бриллюэна<sup>5/</sup> выражать информацию в энтропийных единицах, а термодинамическую энтропию - в единицах информационных /битах/, оказалось лишенным эвристичности<sup>2/</sup>.

Совершенно ясно, что классическая теория информации, или, как называл ее Шеннон<sup>3/</sup>, математическая теория связи, имеет смысл лишь постольку, поскольку сигналы или символы, являющиеся ее объектами, а также анализируемые ею свойства каналов связи, могут служить для передачи /или хранения/ о с м ы с л е н н ы х сообщений, т.е. сообщений, с о д е р ж а щ и х информацию. Собственно, только для этого технические системы связи и были созданы человеком. Столь же ясно, что осмысленность, или семантика, является неотъемлемым свойством информации. Поэтому рассмотрение количественных аспектов информации в отрыве от других ее особенностей, сколь бы ни было это полезным при разработке математической теории связи /где содержательная сторона сообщений не имеет значения/, вряд ли может нас существенно приблизить к определению понятия "Информация".

Основываясь на этих соображениях, попытаемся определить информацию как таковую, вне ее количественных или ценностных аспектов, а затем посмотрим, какие свойства информации позволяют судить о ее количестве и ценности. При этом, памятуя замечание Винера<sup>6/</sup>, что "информация есть информация, а не материя и не энергия", будем использовать для наших целей операционный, а не аксиоматический подход.

### ИНФОРМАЦИЯ КАК "РУКОВОДСТВО К ДЕЙСТВИЮ"

Как указывает Блюменфельд<sup>12/</sup>, информация как таковая может считаться осмысленной лишь в той степени, в какой ее можно использовать для осуществления целенаправленного действия. Действительно, из повседневного опыта ясно, что "действенно жить - это значит жить, располагая правильной информацией"<sup>7/</sup>. Это позволяет попытаться определить информацию через ее роль в осуществлении целенаправленного действия.

Пусть  $S_0$  - исходная ситуация /или пространство режимов/, где могут происходить различные события, в том числе и событие  $Z$ , которое мы будем называть целью. Пусть  $Q$  - оператор, наложение которого на  $S_0$  повышает вероятность  $P$  осуществления  $Z$  по сравнению с ее спонтанным значением  $p$ . Тогда целенаправленное действие можно описать преобразованием:

$$S_0 \xrightarrow[P; p]{Q} Z + m, \quad //$$

где  $m$  - "побочный продукт" осуществления  $Z$ . Преобразование //1/ можно рассматривать как полное определение целенаправленного действия /или просто действия/: любое действие, сколь бы простым или сложным оно ни было, можно полностью описать, задав его компоненты /  $S_0, Q, Z$  и  $m$  / и характеристики /  $P$  и  $p$  /.

Специфическим компонентом действия, отличающим его от спонтанного течения событий, является оператор  $Q$ . **СОВОКУПНОСТЬ ПРИЕМОВ, ПРАВИЛ или СВЕДЕНИЙ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПЕРАТОРА**, мы и будем называть **ИНФОРМАЦИЕЙ**. Такое определение информации близко к определению "полезной информации", предложенному Бонгардом<sup>8/</sup>.

Можно полагать, что структура  $Q_J$  однозначно отражает особенности кодирующей его информации  $J$ . Из повседневного опыта ясно также, что одна и та же  $J$  /точнее, кодируемый ею  $Q_J$  / в разных  $S_0$  с разным  $P$  может приводить к разным  $Z$ , а разные  $J$  как в одних и тех же, так и в разных  $S_0$  могут приводить как к одинаковым, так и к разным  $Z$  /с одинаковыми или разными  $P$  /.

$J$  определенная таким образом, может быть присуща не любым объектам окружающей нас действительности, а только тем из них,

которые могут совершать целенаправленные действия; такими объектами являются живые организмы /и их производные/ и слагаемые из них живые системы<sup>12/</sup>. В соответствии с этим обычно различают три вида  $J$ : генетическую  $J$ ;  $J$ , обуславливающую деятельность центральной нервной системы; а также  $J$ , представляющую собой человеческое знание. Несмотря на различия этих видов  $J$ , всем им присущ ряд общих свойств; некоторые из этих свойств являются основными, а другие - производными.

### СВОЙСТВА ИНФОРМАЦИИ

Одним из основных свойств  $J$  является фиксированность: любая  $J$ , не будучи "ни материей, ни энергией", может существовать, только будучи зафиксированной в том или ином физическом носителе /в молекуле ДНК, в структуре нервных клеток, в совокупности символов какого-либо сообщения/. При этом важнейшим свойством  $J$  является ее инвариантность по отношению к физической природе носителя<sup>9/</sup>. Фиксированность и инвариантность  $J$  позволяет судить о ее количестве /см. ниже/. Связь  $J$  с физическим носителем обуславливает ее брэнность - т.е. возможность разрушения и исчезновения вследствие изменения или разрушения ее носителя. Этому противостоит свойство транслируемости - возможность быть переданной с одного носителя на другой, такой же или иной физической природы. Следствием транслируемости является размножаемость  $J$ , а также ее мультипликативность, т.е. возможность одновременного существования данной  $J$  в форме множества идентичных копий. Изменяемость носителя, не сопровождающаяся исчезновением  $J$ , обуславливает изменчивость  $J$ , что, в свою очередь, является необходимой предпосылкой ее динамики.

Другим основным свойством  $J$  является действительность. Это проявляется в том, что  $Q_J$ , создаваемый на основе  $J$ , может быть использован для осуществления того или иного действия.  $Q_J$ , таким образом, выступает в роли медиатора, или посредника, необходимого для реализации или материализации  $J$ ; сама по себе  $J$  пассивна. Семантика, или содержательность,  $J$  проявляется в специфике кодируемого ею  $Q_J$ . Возможность быть использованной для достижения той или иной  $Z$  обуславливает ценность  $J$ , а возможность одной и той же  $J$  быть использованной для достижения разных  $Z$  определяет такое важнейшее ее свойство, как полипотентность.

## КОЛИЧЕСТВО, ЦЕННОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

Два из перечисленных выше свойств  $J$  допускают количественную оценку - ее количество  $B$  и ценность  $C$ .

Основанием для оценки  $B$  могут служить: фиксируемость  $J$ , ее транслируемость и инвариантность по отношению к физической природе носителя. Для выполнения такой оценки можно воспользоваться предложенным Шенноном <sup>/3/</sup> уравнением:

$$H \approx -kM \sum_{j=1}^i p_j \log p_j, \quad /2/$$

где  $M$  - число символов в сообщении;  $p_j$  - частота встречаемости  $j$ -го символа в языке, использованном для записи или передачи  $J$ ;  $i$  - число разных символов в этом языке;  $k$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц измерения  $H$  и основания логарифмов. Согласно <sup>/2/</sup>, при выражении  $H$  в б и т а х, использовании логарифмов с основанием 2 и языка, для которого  $i=2$ , а  $p_1 = p_2 = 0,5$ , будем иметь:  $k=1$  и  $H \approx M$ . В этом случае, учитывая возможность дублирования тех или иных элементов сообщения, можно считать, что  $B \leq H \approx M$ , т.е. что число б и т о в  $J$ , записанной бинарным кодом, не может превышать числа  $M$  символов, составляющих эту запись, а при максимальной компактности текста равно этой величине.

Такое определение  $B$  хорошо соответствует представлению о величине  $H$  /иногда называемой энтропией сообщения/ как о мере информационной емкости текста. Действительно,  $H$  имеет максимальное значение при случайной последовательности символов, составляющих сообщение /модель сообщения, см. <sup>/3/</sup>/. При все большем "осмысливании" сообщения вероятность  $p_j$  встречаемости очередного символа в тексте приближается к 1, а  $H$  стремится к 0: "тара" оказывается заполненной  $J$ .

Для определения  $C$  можно воспользоваться, как предложил Харкевич <sup>/10/</sup>, приращением вероятности достижения цели при использовании данной  $J$ . Величину  $C$  можно определить, например, как отношение:

$$C = \frac{P-p}{1-p}, \quad /3/$$

Согласно свойству полипотентности,  $C$  каждой  $J$  может иметь постоянное значение только для данной пары  $S_0$  и  $Z$ , в общем же случае  $C$  может быть задано только как распределение на множествах  $S_0$  и  $Z$ . Этим  $C$  существенно отличается от  $B$ , являющегося инвариантом по отношению к  $S_0$  и  $Z$ .

Можно думать, что чем сложнее преобразование <sup>/1/</sup>, т.е. чем больше "шагов" требуется для достижения  $Z$  в данной  $S_0$ , тем большее количество информации  $B$  должно быть использовано для его успешного осуществления. Поэтому, хотя в общем случае  $C$

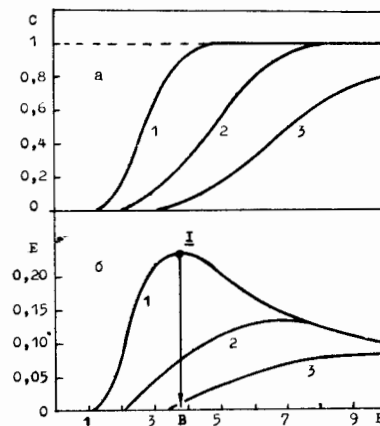


Рис.1. Схема зависимости ценности ( $C$ ) и эффективности ( $E$ ) информации от ее количества ( $B$ ) для данной пары  $S_0$  и  $Z$ ; 1 - оптимальный, 2 и 3 - неоптимальные информационные ряды. /Ось ординат - а/. ценность информации, усл. ед.; б/. эффективность информации, усл. ед. Ось абсцисс - количество информации, усл. ед./

и  $B$  не зависят друг от друга, для каждой пары  $S_0$  и  $Z$  должна существовать область таких значений  $C$ , которые могут быть достигнуты только при  $B$ , превышающих некоторые критические величины <sup>/рис. 1а/</sup>.

Множество  $J$ , ограничивающее эту область, будем называть оптимальным информационным рядом /для данной пары  $S_0$  и  $Z$ , конечно/.

Отношение  $\frac{C}{B} = E$ , которое можно называть эффективностью  $J$ , всегда будет иметь экстремум <sup>/рис. 1б/</sup>.  $J$ , соответствующую точке максимума  $E$ , а также ее характеристики  $B$  и  $C$ , будем называть оптимальными. Можно думать, что для каждой пары  $S_0$  и  $Z$  должна существовать по меньшей мере одна  $J$ , обладающая максимальной эффективностью  $E$ .

## ДИНАМИКА ИНФОРМАЦИИ

Как уже отмечалось,  $J$ , не будучи "ни материей, ни энергией", сама по себе пассивна. Кодированный ею  $Q_j$ , однако, предназначенный работать в условиях  $S_0$ , можно рассматривать как машину, расходующую определенное количество энергии  $e_q$ ; часть  $e_z$  этой энергии идет на "полезное действие" /осуществление  $Z$ /, а часть  $e_m = e_q - e_z$  - на образование побочного продукта  $m$ . Будем считать, что  $e_q$  пропорциональна "сложности"  $Q_j$  и, тем самым, количеству  $B$  кодирующей его  $J$ , а  $e_z$  пропорциональна приращению вероятности достижения  $Z$ , т.е.  $C$ . Тогда коэффициент полезного действия  $Q_j$  можно определить как

$$\text{КПД}_{Q_j} = \frac{e_q}{e_z} = \frac{k_1 B}{k_2 C} = K \frac{B}{C} = KE, \quad /4/$$

где  $K$  - коэффициент пропорциональности, равный по величине количеству  $B$  "идеальной"  $J$ , обеспечивающей осуществление "безотходного" достижения  $Z$  / $m=0$ / с  $P=1$  /при данной  $S_0$ , конечно/.

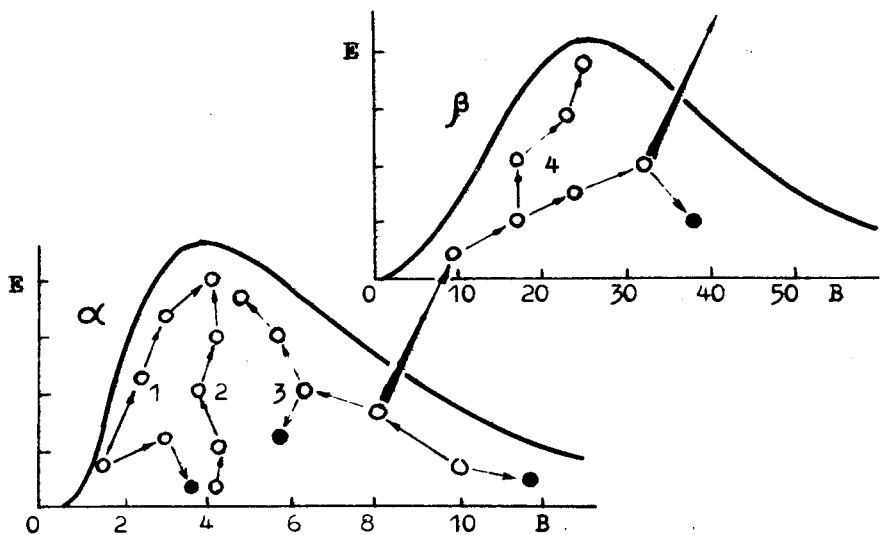


Рис. 2. Схема динамики информации: 1 - прогрессивное, 2 - адаптивное и 3 - регрессивное развитие; 4 - динамика информации при переходе из одного информационного поля в другое. /Ось ординат - эффективность информации, усл.ед. Ось абсцисс - количество информации, усл.ед./.

Если эти соображения хотя бы отчасти соответствуют действительности, т.е. если КПД  $Q_J$  действительно возрастает с увеличением  $E$  кодирующей его  $J$ , то величину  $E$  можно использовать для "отбора"  $J$  по КПД кодируемого ею оператора  $Q_J$ .

Пусть в некотором "информационном поле"  $\alpha$ , ограниченном кривой  $E(B)$  оптимального информационного ряда, имеется некоторое число исходных  $J_{i,0}$  со значениями  $E_{i,0} < E_{\alpha}$ . Пусть, в результате свойства изменчивости, каждая  $J_{i,0}$  в ходе своего размножения порождает новые варианты  $J_{i,1}, J_{i,2}$  и т.д., отличающиеся от  $J_{i,0}$  как по  $B$ , так и по  $S$ . Будем "отбраковывать" те из них, для которых  $E_{i,k+1} \leq E_{i,k}$ , и оставлять те, для которых  $E_{i,k+1} > E_{i,k}$ .

Очевидно, что в результате ряда таких операций вывяжутся три варианта динамики  $J$  в направлении  $E \rightarrow E_{\alpha}$ : при сопутствующем увеличении  $B$  /когда  $B_{i,0} < B_{\alpha}$  /, при неизменности  $B$  /когда  $B_{i,0} = B_{\alpha}$  / и при сопутствующем уменьшении  $B$  /когда  $B_{i,0} > B_{\alpha}$  / /рис. 2/. Первый вариант, сопровождающийся возрастанием  $B$ , будем называть прогрессивным развитием  $J$ , второй - адаптивным и третий - регрессивным, при котором происходит утрата, деградация части  $J$ .

В данном информационном поле, следовательно, динамика  $J$  будет иметь конвергентный характер, а возможности прогрессивного развития  $J$  будут определяться соотношением  $B_{i,0} < B_{\alpha}$  и ограничиваться величиной  $B_{\alpha}$ .

Иная ситуация может иметь место, если какая-либо из  $J_{i,k}$  с  $B_{i,k} \geq B_{\alpha}$  в силу своей полипотентности, получит применение в новом информационном поле  $\beta$ , для которого  $B_{\beta} > B_{i,k}$ : в этих новых условиях возможно дальнейшее увеличение ее количества, сверх значения  $B_{\alpha}$ . Следовательно, условием монотонного прогрессивного развития  $J$  может быть только такая последовательная смена информационных полей, при которой  $B_{\alpha} < B_{\beta} < B_{\gamma} \dots$  /рис. 2/. Очевидно, что динамика информации в разных информационных полях будет иметь дивергентный характер.

### НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Мы уже отмечали, что определение  $J$  как "руководства к действию" предполагает присущность  $J$  только живым объектам /и их производным/. Это непосредственно следует из представлений, согласно которым "живыми называются самовоспроизводящиеся системы, способные к созданию информации, прямо или косвенно влияющей на их самовоспроизведение" /2/. Используя /1/, можно написать преобразование:

$$S_0 \xrightarrow[Р]{Q_J} [J, Q_J] + m, \quad /5/$$

где  $S_0$  - среда обитания живого объекта  $[J, Q_J]$ ,  $P$  - вероятность его самовоспроизведения в этих условиях, а  $m$  - побочные продукты его жизнедеятельности. Здесь  $J$  - информация, присутствующая данной живой системе, а  $Q_J$  - ее неинформационные компоненты, кодируемые  $J$ , которые обеспечивают самовоспроизведение  $J$  в условиях  $S_0$ , где спонтанно /в отсутствие  $Q_J$ / это невозможно /р=0/. Интересно отметить, что логические предпосылки такой интерпретации феномена жизни были сформулированы Меллером /11/ примерно за четверть века до начала "информационной эры".

Выше мы говорили, что каждую пару  $S_0$  и  $J$  можно охарактеризовать оптимальным количеством  $(B)J$ , обеспечивающей осуществление данного действия с максимальным КПД. Это означает, что количество  $J$ , присущей данной живой системе, должно определяться степенью сложности /или "размерностью"/ ее экологической ниши  $S$ . Эволюцию живых систем, с этой точки зрения, можно представить себе как постепенное освоение живыми объектами, в силу присущей им  $J$  полипотентности, все новых потенциальных  $S$ , с последующим конвергентным развитием в пределах каждой  $S$  и дивергентным - в разных, а прогрессивную эволюцию - как результат последовательного заселения все новых  $S$  со все возрастающей "размерностью".



Можно представить себе "элементарные экологические ниши", или экологические ниши 1-го яруса, состоящие из минимального числа необходимых для преобразования /5/ компонентов абиогенного происхождения, которые "разрабатываются" первичными элементарными видами живых организмов; такие организмы должны иметь минимальное /для свободноживущих одноклеточных/ количество  $J$ , локализованной в их генетических структурах /молекулах нуклеиновых кислот /12,13/ /. Последующая эволюция, при соответствующем увеличении необходимого для этого количества  $J$ , могла идти как по пути расширения "зон обитания" вследствие включения в них нескольких элементарных экологических ниш, так и по пути освоения новых потенциальных экологических ниш - экологических ниш 2-го яруса, содержащих уже биогенные компоненты, представляющие собой побочные продукты жизнедеятельности элементарных организмов. Особенно интересен второй путь, скрывающий в себе возможности неоднократного повышения ярусности жизни вследствие возникновения все новых потенциальных экологических ниш, содержащих в качестве компонентов побочные продукты жизнедеятельности организмов предшествующих ярусов. Это, по существу, не что иное, как процесс автотогенеза  $J$ , когда возможности для ее дальнейшего прогрессивного развития /в виде все новых потенциальных экологических ниш все возрастающей степени сложности/ создаются в результате деятельности кодируемых ею же систем обеспечения  $Q_J$ . Основные механизмы изменчивости генетической  $J$ , приводящие к варьированию ее семантики и количества и, тем самым, обеспечивающие реализацию таких возможностей, сейчас уже довольно хорошо известны /14/.

Увеличение количества генетической  $J$  в ходе повышения ярусности жизни сопровождалось все большим усложнением систем обеспечения  $Q_J$ , все большей дифференцировкой и специализацией соматических компонентов организма. Как известно, это привело в конце концов к формированию нервной системы, первоначально выполнявшей только регуляторную функцию. Клетки нервной системы, однако, преобразовались со временем в носителей новой  $J$ , накапливаемой в ходе индивидуального "опыта" биологических объектов и кодирующей новый вид  $Q_J$  - поведенческие реакции. Возникновение этого вида  $J$  позволило биологическим объектам располагать значительно большим суммарным количеством  $J$ , нежели то, которое могло быть закодировано в их генетических структурах, размеры которых не могли неограниченно возрастать /по-видимому, один набор хромосом не может содержать более нескольких десятков пг ДНК/. Наибольшим количеством так ой  $J$  располагают, как мы знаем, высшие млекопитающие, у которых ей принадлежит ведущая роль в обеспечении самовоспроизведения. Экологические ниши, разрабатываемые этими видами организмов, занимают, как мы знаем, верхние ярусы биосферы.

Однако, несмотря на очевидные различия, как генетическая  $J$ , так и  $J$ , кодирующая поведенческие реакции, непосредственно связаны со своими системами обеспечения  $Q_J$ ; и соматические компоненты организмов, и свойственные этим организмам поведенческие реакции не могут существовать изолированно от носителей кодирующей их  $J$ . Эти системы обеспечения можно поэтому называть непосредственными, или системами обеспечения 1-го рода. Вся биологическая эволюция и представляет собой развитие именно этих видов  $J$  и непосредственных систем обеспечения.

Завершением биологической эволюции явилось, как мы знаем, возникновение Человека, - не человека как биологического объекта, а человека социального. Сущностью этого феномена было возникновение нового вида  $J$  - человеческого знания, которое может существовать в не отдельных индивидуумов, будучи зафиксированным в языке, т.е. в знаковой системе, сохраняемой устной, а затем и письменной традицией. Формой реализации этого вида  $J$ , - или, точнее, оператором, ею кодируемым, - явилась технoлoгия, понимаемая в самом широком смысле этого слова, от примитивных орудий труда и первых одомашненных животных и возделываемых растений до современных технологических гигантов добывающей и перерабатывающей промышленности. В отличие от предыдущих систем обеспечения, все более приобретающих теперь подчиненное значение, технологические системы, обеспечивающие как жизненные потребности человеческого общества, так и передачу, хранение и воспроизведение кодирующей их  $J$ , существуют независимо и от отдельных человеческих индивидуумов, и от носителей порождающей их  $J$ . Это - системы обеспечения 2-го рода. Эволюция этого вида  $J$  и представляет собою, по существу, основу ноогенеза и техногенеза. Одним из результатов этой эволюции, как мы знаем, является постепенная замена техническими аналогами живых обитателей нижележащих ярусов биосферы, побочные продукты жизнедеятельности которых представляли собой необходимые компоненты экологической ниши первобытного человека.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с позиций сформулированной в этой работе феноменологической концепции информации, эволюцию жизни на Земле можно попытаться интерпретировать в терминах динамики информации, приобретающей в своем развитии все новые формы, и кодируемых ею операторов, обеспечивающих ее самовоспроизведение. Однако эта интерпретация не ограничивается только "переводом на другой язык хорошо известных фактов и положений". Эту концепцию, надеюсь, можно использовать для планирования исследований, целью которых будет установление строгих

соотношений между размерностью /степенью сложности/ экологических ниш и количеством информации, кодирующей пригодные для их разработки операторы; между количеством информации и структурой этих операторов; между количеством информации и КПД таких операторов; между скоростью эволюции информации и ее количеством. Определение понятия "Прогрессивное развитие" и формулирование условий, необходимых для его осуществления, также, думаю, может свидетельствовать об эвристичности представлений об информации как о "руководстве к действию".

Автор искренне благодарен Л.А.Блюменфельду, Ю.А.Кутлахмедову, М.И.Подгорецкому и Д.С.Чернавскому за обсуждение этой работы и конструктивные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теория информации в биологии. Изд-во ин.лит., М., 1960.
2. Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики. "Наука", М., 1977, с. 28-33.
3. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Изд-во ин.лит., М., 1963, с. 243-332.
4. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Изд-во ин.лит., М., 1959.
5. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. Гос. изд. физ.-мат. лит., М., 1960.
6. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. "Советское радио", М., 1968, с. 201.
7. Винер Н. Кибернетика и общество. Изд-во ин.лит., М., 1958, с. 31.
8. Бонгард М.М. Проблема узнавания. "Наука", М., 1967.
9. Дубровский Д.И. Информация, сознание, мозг. "Высшая школа", М., 1980.
10. Харкевич А.А. В кн.: Проблемы кибернетики, вып. 4, "Физматгиз", М., 1960, с. 53-57.
11. Меллер Г. Избранные труды по генетике. "Сельхозгиз", М.-Л., 1937, с. 148-177.
12. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. "Мир", М., 1967.
13. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. Мир, М., 1973.
14. Ауэрбах Ш. Проблемы мутагенеза. "Мир", М., 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 июля 1981 года.