

Ю.Б. Кирста

# Информационно-иерархическая организация биосферы и проблемы ее устойчивого развития

Биосфера и человечество являются двумя наиболее сложными из известных нам природных систем. На протяжении своего существования обе системы эволюционно развивались в условиях меняющихся факторов среды. Установлено, что их развитие базируется на общем для природных систем информационном законе, обеспечивающем в процессе эволюции их устойчивость, постепенное усложнение и адаптацию к среде. В данной публикации будут рассмотрены вопросы, касающиеся информационно-иерархической организации (ИИО) биосферы и ее устойчивого развития. Работа суммирует результаты многолетних исследований биосферных систем, выполненных в рамках системного информационно-иерархического подхода [1–5]. Показано, что эволюционно развитые системы подчиняются универсальному закону накопления информации. Согласно этому информационному закону любая эволюционная система вырабатывает собственную ИИО. Иерархические уровни (ИУ) этой ИИО последовательно объединяют в себе предшествующие ИУ в качестве подсистем. В основе функционирования всех ИУ лежат циклические базовые процессы (БП). При этом временные циклы каждого ИУ (циклы БП) включены в больший цикл следующего ИУ по определенным схемам квантования (рис. 1). Каждой

схеме отвечают четыре взаимосвязанные информационные характеристики:  $H$ ,  $R$ ,  $|H \ln H|$ ,  $|R \ln R|$  (табл. 1), причем  $H$  и  $R$  удовлетворяют уравнению  $H+R=1$ . Значения этих характеристик составляют информацию отдельного ИУ [4]:

- в случае одного БП с  $i$  фазами (характерными интервалами)

$$I_1 = i (H + |H \ln H|) + (R + |R \ln R|); \quad (1)$$

- в случае  $j$  взаимосвязанных параллельных БП

$$I_2 = (H + |H \ln H|) + j (R + |R \ln R|), \quad (2)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – общая (накопленная в процессе эволюции) информация ИУ при одном БП и параллельных взаимосвязанных БП соответственно;  $H$  и  $R$  – информационные энтропия и порядок, максимизирующие информацию  $I_1$  или  $I_2$ ;  $i$  и  $j$  – целочисленные характеристики схем квантования ИУ (табл.).

Информация каждого ИУ передается на следующий уровень через формируемые посредством БП информационные временные и материально-энергетические продукты, где они используются для образования новых информационных продуктов [4–5]. Каждая информация  $H$ ,  $R$ ,  $|H \ln H|$  или  $|R \ln R|$  переносится

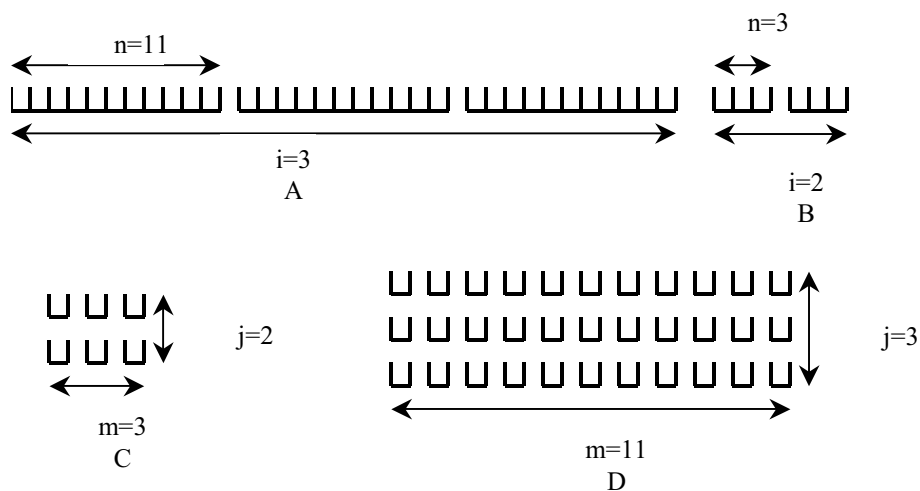


Рис. 1. Схемы квантования динамики БП у систем: с одним БП, имеющим 3 (А) и 2 фазы (В); двумя (С) и тремя (D) параллельными БП. Схемам отвечает информационная энтропия  $H$ , равная 0.682 (А), 0.618 (В), 0.382 (С) и 0.318 (D). Символом  $\square$  обозначен временной цикл систем предшествующего ИУ.  $i$ ,  $j$ ,  $n$  и  $m$  – численные характеристики схем квантования (табл.)

Таблица  
Численные характеристики некоторых схем  
квантования базовых процессов (БП)  
у иерархически организованных систем

Характеристики	Число фаз $i$ (один БП)		Число параллельных БП $j$ (взаимосвязанные БП)			
	3	2	2	3	...	7
$N$	33	6	6	33	...	14245
$n$	11	3	—	—	—	—
$m$	—	—	3	11	...	2035
$H$	0.682	0.618	0.382	0.318	...	0.203
$R$	0.318	0.382	0.618	0.682	...	0.797
$ H \ln H $	0.261	0.297	0.368	0.364	...	0.324
$ R \ln R $	0.364	0.368	0.297	0.261	...	0.181

Примечания.  $N$  – общее число циклов (повторений циклической динамики) предшествующего ИУ, объединенных в один цикл рассматриваемого ИУ и суммируемых по его БП;  $n$  – число циклов предшествующего ИУ, объединенных в одной фазе (характерном интервале) в случае одного БП;  $m$  – число циклов предшествующего ИУ, входящих в цикл рассматриваемого ИУ для каждого из параллельных БП;  $H$  и  $R$  – соответственно информационные энтропия и порядок рассматриваемого ИУ ИИО;  $H=(\ln n)/\ln N$ ,  $R=(\ln i)/\ln N$  в случае одного БП или  $H=(\ln j)/\ln N$ ,  $R=(\ln m)/\ln N$  в случае параллельных БП; значения  $H$  и  $R$  максимизируют информацию ИУ в (1) или (2) [4], причем последовательность этих значений представляет собой известный ряд обобщенных божественных (в отечественной литературе – «золотых») сечений.

соответствующим продуктом как нормированная информация Шеннона:

$$\text{Информация} = - \frac{\sum_{i=1}^k p_i \times \ln p_i}{\ln k}, \quad (3)$$

где  $k$  – число созданных структурных элементов, составляющих информационный продукт;  $p_i$  – долевой вклад элемента  $i$  в продукт,

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1.$$

Например, образуемые в каждой из фаз одного БП материально-энергетические продукты имеют информацию  $H$ ,  $|H \ln H|$  согласно уравнению (3). Периоды существования этих продуктов, в свою очередь, являются структурными элементами временных продуктов всего цикла, которые характеризуются информацией  $R$ ,  $|R \ln R|$  также согласно уравнению (3). В связи с большим количеством рассматриваемых в дальнейшем ИУ и отвечающих им информационных продуктов мы будем анализировать только отдельные продукты, важные для правильного понимания и анализа ИИО биосферы в целом.

**Информационно-иерархическая организация биосферы.** В соответствии с информаци-

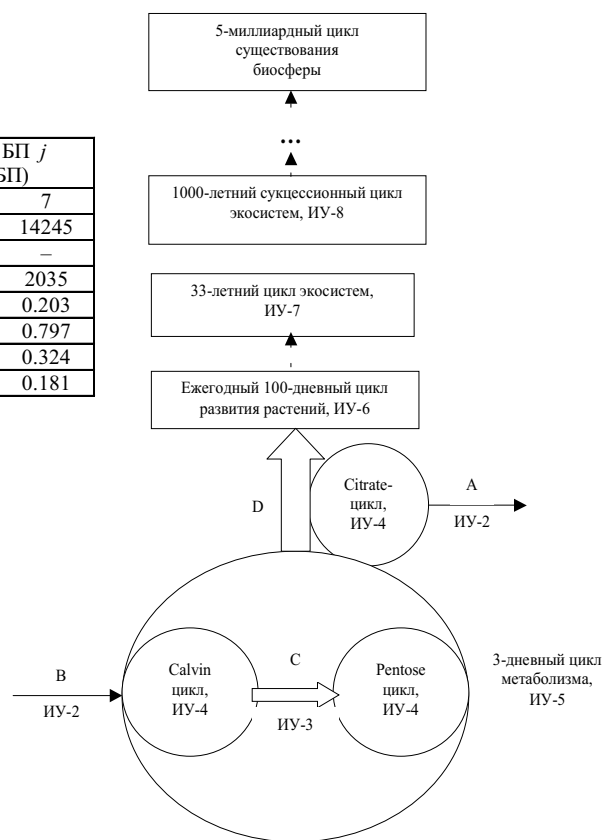


Рис. 2. Принципиальная схема  
информационно-иерархической  
организации биосферы

онным законом эволюция биосферы начиналась с формирования низших ИУ биосферы, к которым относятся различные молекулярно-генетические системы [4]. После самоорганизации каждого ИУ и его стабилизации при достижении максимума информации согласно уравнениям (1) или (2) начиналось формирование следующего ИУ. Последовательно появляющиеся ИУ образовали в конечном итоге ИИО биосферы с максимальной информацией на каждом ИУ. Рассмотрим вкладывающиеся друг в друга ИУ биосферы [4–6], начиная с ее низших метаболических ИУ (рис. 2). На рисунке 2 А, В – системы ИУ-2 со схемой квантования одного БП с 2 фазами (рис. 1, табл.) и длительностью цикла 6 с: система А отвечает переносу электронов при окислительном фосфорилировании, а система В – переносу электронов при фотосинтетическом фосфорилировании [4; 7]; С – система ИУ-3 со схемой квантования одного БП с двумя фазами и длительностью цикла порядка 40 с: система состоит из 6 ферментативных реакций, переводящих молекулы гексоз из Calvin-цикла в pentose-цикл; D – специальная (разделительная) система ИУ-3 с уже указанной схемой квантования: си-

стема представляет собой сеть метаболических систем ИУ-3 и обеспечивает синтез аминокислот, рибонуклеотидов (GTP, ATP, CTP, UTP) и дезоксирибонуклеотидов (dGTP, dATP, dCTP, dTTP), необходимых для работы системы ИУ-6. Малая окружность вокруг названий биохимических циклов обозначает соответствующие метаболические системы ИУ-4 со схемой квантования семи параллельных БП и длительностью цикла около суток (или меньше суток для Calvin-цикла, работающего в течение светового дня). Большая окружность вокруг двух малых обозначает метаболическую систему ИУ-5 со схемой квантования 2 параллельных БП и длительностью цикла 3 суток, где БП отвечают работе двух указанных систем ИУ-4. Прямоугольником обозначены системы возрастающих по рангу ИУ с длительностью циклов 100 дней и более.

**Иерархические уровни 1 и 2.** Уровню ИУ-1 отвечает один акт функционирования полиферментных комплексов. Длительность временного цикла (акта) ИУ-1 составляет порядка 1 с. Эта длительность определяется необходимостью совпадения циклов более высоких ИУ с внешней ритмикой среды (сутками, годом). За каждый акт работы комплексов осуществляется перераспределение энергии между их компонентами.

Следующему уровню ИУ-2 соответствует полный цикл работы полиферментных комплексов, состоящий из 6 отдельных актов ИУ-1 согласно схеме квантования одного БП с двумя фазами (рис. 1, табл.). Длительность временного цикла ИУ-2 равна  $1 \times 6 = 6$  с. К системам ИУ-2 относятся полиферментные комплексы нециклического и циклического фосфорилирования, окислительного фосфорилирования, полиферментный комплекс, обеспечивающий превращение pyruvate в acetyl-CoA в ходе гликолиза, и др. [7]. В ходе каждого цикла БП этих систем в соответствии с информационным законом происходит распределение поглощенной солнечной и химической энергии (обычно оцениваемой через электрохимический редокс-потенциал) между различными носителями: протонами  $H^+$ , молекулами  $O_2$ , NADPH, пигментами  $P_{700}$  и др. Формирование на ИУ-2 информационных продуктов с информацией Н (далее Н-продуктов), например в ходе нециклического и циклического фосфорилирования при фотосинтезе, описано в [4].

**Иерархический уровень 3.** ИУ-3 представлен системами из 6 моно- и бисубстратных ферментативных реакций, относящихся к ИУ-2, и имеет схему квантования одного БП с 2 фа-

зами (рис. 1, табл.). К этому уровню относятся наибольшее число систем клеточного метаболизма, которые формируют целостную сеть реакций (рис. 2, D). Каждая система ИУ-3, входящая в сеть, должна, очевидно, отделяться от аналогичных ей систем одним (предшествующим и/или последующим) элементарным для ИУ-3 циклом работы какой-либо системы ИУ-2. Одним из примеров такой разделительной системы может служить реакция превращения orotidine 5'-P в uridine 5'-P, выполняющаяся полиферментным комплексом и отделяющая две системы ИУ-3 по синтезу соответственно dCTP и dTTP из uridine 5'-P, от предшествующей им системы ИУ-3 синтеза orotidine 5'-P [7]. Таким образом, общее время циклического функционирования систем ИУ-3 со схемой квантования одного БП с двумя фазами и разделительной системой ИУ-2 должно составить порядка  $6 \times 6 + 6 = 42$  с. К системам ИУ-3 метаболизма клеток относятся фотодыхание [8], превращение D-glyceraldehyde 3-P в acetyl-CoA при аэробном гликолизе (окисление жирных кислот, превращение succinyl-CoA в citrate при работе citrate-цикла (здесь преобразование succinate в fumarate выполняется за 2 последовательные реакции), синтез дезоксирибонуклеотидов из uridine 5'-P или из inosine 5'-P и мн. др. [7]. На уровне ИУ-3 в ходе БП происходит распределение энергии, полученной системами ИУ-2, между общими для всего метаболизма молекулами-энергоносителями (ATP, NADH, NADPH,  $FADH_2$  и др.). Традиционно эта энергия характеризуется как свободная энергия химических связей.

В ходе БП, согласно схеме квантования одного БП с двумя фазами (рис. 1) и уравнению (1), для каждой из фаз должны формироваться свои информационные материально-энергетические продукты. В качестве примера здесь можно воспользоваться гликолизом, который способен функционировать отдельно от citrate-цикла или других биохимических циклов и формирует собственные информационные продукты. При гликолизе за первую фазу от D-glyceraldehyde 3-P до 2-P-D glycerate синтезируются 1 молекула NADPH и 1 молекула ATP [7]. За вторую фазу от 2-P-D glycerate до acetyl-CoA (здесь превращение pyruvate в acetyl-CoA является одной полиферментной реакцией, являющейся системой ИУ-2) синтезируются ATP и NADH. Для живых клеток свободная энергия ATP составляет порядка 42 kJ/mol [9]. Оценка свободной энергии NADPH (или NADH) по редокс-потенциалу в свою очередь дает 235 kJ/mol [4]. Отсюда энергии ATP и

NADPH (или NADH) как структурных элементов первого (или второго) Н-продукта находятся в соотношении  $[42 \text{ kJ/mol} \times (1 \text{ mol ATP}) = 42 \text{ kJ}] : [235 \text{ kJ/mol} \times (1 \text{ mol NADPH}) = 235 \text{ kJ}]$  или в долях 0.152:0.848. Подставляя последние в формулу (3), получаем для первого и второго Н-продуктов информацию  $H=0.618$ , требуемую схемой квантования одного БП с двумя фазами (табл.).

**Иерархический уровень 4.** Уровню ИУ-4 отвечают замкнутые биохимические циклы моно- и бисубстратных реакций, функционирующие как системы семи параллельных БП (рис. 2). Согласно схеме квантования (табл.) временной цикл работы систем ИУ-4 будет равен  $(42 \text{ с}) \times 2035 \approx 1$  сутки. На этом уровне обеспечивается необходимое для оптимального функционирования биохимических систем совпадение их ритмики (схем квантования) с суточной ритмикой внешних факторов (освещения, температуры и др.). В частности, по этой причине Calvin-цикл, обеспечивающий процесс фотосинтеза у растений, построен в среднем под 12-часовую длительность светового дня [4]. Кроме Calvin-цикла к системам ИУ-4 относятся pentose-цикл и citrate-цикл. Отметим, что для citrate-цикла превращение 2-охо-glutarate в succinyl-CoA происходит за 4 биохимических реакции, входящих в число 7 параллельных БП этого цикла. Очевидно, что любая последовательность реакций, замкнутая в биохимический цикл и являющаяся тем самым системой из параллельных БП, должна иметь начало и конец функционирования своих БП. Для Calvin-, pentose- и citrate-циклов это достигается введением в качестве разделителя начала и конца функционирования параллельных БП соответствующих систем предыдущего уровня ИУ-3, состоящих из 6 последовательных моно- и бисубстратных реакций. Например, для citrate-цикла такой разделительной элементарной системой ИУ-3 является превращение succinyl-CoA в citrate [7]. В целом системы ИУ-4 из семи параллельных БП переводят свободную энергию молекул-энергоносителей уровня ИУ-3 в свободную энергию отдельных ключевых для метаболизма углеводородных молекул.

Согласно схеме квантования семи параллельных БП (табл.) и уравнению (2) в системах ИУ-4 должны формироваться информационные материально-энергетические продукты, общие для всех БП. Например, для Calvin-цикла, а также pentose-цикла Н-продуктом является  $\beta$ -D-fructose 1,6- $P_2$  [4]. Для citrate-цикла Н-продуктом служит succinyl-CoA.

Последний формируется путем наращивания на углеводном фрагменте  $\text{CH}_3\text{-CO-}$ , вводимом в citrate-цикл из сети ИУ-3 (рис. 2, D), двух карбогидратов (двух атомов углерода) и одной тиоэфирной связи с CoA. Свободная энергия карбогидрата составляет  $480 \text{ kJ/mol}$  [4], а тиоэфирной связи – порядка  $32 \text{ kJ/mol}$  [8]. Отсюда получаем соотношение  $[480 \text{ kJ/mol} \times (2 \text{ mol}) = 960 \text{ kJ}] : [32 \text{ kJ/mol} \times (1 \text{ mol}) = 32 \text{ kJ}]$  или в долях 0.968:0.032 для двух структурных элементов Н-продукта. Подстановка соотношения в уравнение (2) дает требуемую схемой квантования 7 параллельных БП (табл.) информацию  $H=0.203$ .

**Иерархический уровень 5.** ИУ-5 входит в ИИО растительности, являющейся основным системообразующим компонентом биосферы. Организация ИУ-5 у растительных клеток (рис. 2) отличается от организации ИУ-5 у животных клеток. У растений система ИУ-5 формируется как два параллельных БП, которые представлены соответственно Calvin-циклом и pentose-циклом. Схема квантования 2 параллельных БП (рис. 1) дает длительность временного цикла ИУ-5, равную  $1 \times 3 = 3$  суток. Чтобы Calvin-цикл и pentose-цикл функционировали как два параллельных БП, между ними находится разделительная система ИУ-3, состоящая из шести ферментативных реакций (рис. 2, C). Эти реакции формально (не рассматривая синтез крахмала) можно отсчитывать от  $\beta$ -D-fructose 6-P из Calvin-цикла до  $\beta$ -D-fructose 6-P из pentose-цикла [7]. Система ИУ-5 в целом также должна иметь разделительную систему, относящуюся уже к ИУ-4. Эта система представлена в растительных клетках citrate-циклом в митохондриях (рис. 2). Разделительный citrate-цикл, в свою очередь, отделяется от других систем ИУ-4 (других циклов из семи параллельных БП) специальной разделительной системой ИУ-3, представляющей собой сеть систем ИУ-3 (рис. 2, D). Разделительной системой, но более низкого уровня ИУ-2, для citrate-цикла и сети ИУ-3 является окислительное фосфорилирование (рис. 2, A).

В растительных клетках цикл синтеза жирных кислот состоит из 6 ферментативных реакций ИУ-2 и поэтому вместе с  $\beta$ -окислением жирных кислот является компонентом указанной сети ИУ-3. Это приводит к тому, что citrate-цикл служит разделительной системой ИУ-4 и не является параллельным БП к pentose-циклу, как в животных клетках. Необходимым компонентом сети ИУ-3 является также фотодыхание [8], которое

состоит из шести последовательных ферментативных реакций, обеспечивающих превращение phosphoglycolate (поступающего из Calvin-цикла) в glycine, а затем в 3-P-D-glycerate (поступающего обратно в Calvin-цикл).

Наконец, следует отметить, что в прорастающих семенах растений отсутствует фотосинтез, а Calvin-цикл не работает. Поэтому рассматриваемой системы ИУ-5 не образуется, хотя остается pentose-цикл как система ИУ-4. В связи с этим существование citrate-цикла как разделительного к отсутствующей системе ИУ-5 становится недопустимым. Именно по этой причине в прорастающих семенах citrate-цикл заменяется glyoxylate-циклом [7, 10], являющимся уже частью той же сети ИУ-3. Последняя становится разделительной системой уже к pentose-циклу, относящемуся к ИУ-4.

На уровне ИУ-5 в ходе БП осуществляется разделение поглощенных при фотосинтезе и превращенных в карбогидраты атомов углерода на две функционально противоположные доли (химические соединения). Одна доля используется клеткой для дальнейших метаболических превращений, а другая не используется и выводится из клетки. Таким образом, информационный Н-продукт в системе ИУ-5 (рис. 2) имеет два структурных элемента. Первый элемент – это две молекулы гексоз (2 фруктозы или 2 глюкозы) с шестью атомами углерода каждая, которые образуются за два оборота Calvin-цикла. Второй элемент – это молекула  $\text{CO}_2$  с одним атомом углерода, высвобождающаяся из системы метаболизма клетки (и имеющая сопутствующую молекулу  $\text{NH}_3$  при превращении glycine в L-serine [8]) в ходе фотодыхания также за два оборота Calvin-цикла. Соотношение атомов углерода у этих элементов Н-продукта равно 12:1, или 0.923:0.077. Подстановка соотношения в уравнение (3) дает информацию Н, близкую к значению 0.382, как это требуется схемой квантования двух параллельных БП (табл.).

Для образования в Calvin-цикле 2 молекул гексоз как продукта БП при фотосинтезе поглощается 2 молекулы  $\text{CO}_2$  [4]. Поэтому при работе системы ИУ-5, состоящей из Calvin-цикла и pentose-цикла как двух параллельных БП, в целом поглощаются две и высвобождается одна молекула  $\text{CO}_2$ . Тем самым эффективность фотосинтетической активности системы ИУ-5 (фотосинтеза  $\text{C}_3$ -растений) составляет 50%, что подтверждается экспериментальными данными по максимальным значениям фотодыхания [10], когда высвобожда-

емые молекулы  $\text{CO}_2$  не используются растением повторно на фотосинтез.

В соответствии с изложенным находит четкое объяснение существование «ненужного» для фотосинтеза фотодыхания, которое требуется для образования ИИО метаболизма фотосинтезирующих клеток [10]. Поэтому все попытки генетиков и физиологов повысить продуктивность  $\text{C}_3$ -растений путем уменьшения или исключения фотодыхания [8] будут, очевидно, бесполезными.

**Иерархический уровень 6.** ИУ-6 отвечает ежегодному сезонному развитию растений. ИУ-6 имеет схему квантования одного БП с 3 фазами (рис. 1, табл.) и длительность временного цикла  $3 \times 33 \approx 100$  суток. Эта длительность характеризует биологическое время, требующееся для прохождения полного цикла вегетации, например, у однолетних культур [11]. Ход биологического времени при этом не совпадает с календарным и определяется температурой воздуха, от которой зависит скорость протекания всех биохимических реакций в растительной клетке. В рассматриваемой системе ИУ-6 создание информационных материально-энергетических продуктов обеспечивается через определенные приросты биомассы органов растений, а временных продуктов – через характерные периоды прироста биомассы [5].

**Иерархический уровень 7.** Уровень ИУ-7 имеется у экосистем, состоящих из различных видов растений. Данный уровень, как и предыдущий, имеет схему квантования одного БП с тремя фазами (рис. 1, табл.). Длительность временного цикла здесь можно измерять в календарных годах, если в них формально включить и зимний период с отсутствием вегетации растений. Тогда временной цикл ИУ-7 составит 1 год  $\times 33 = 33$  года. Этот цикл, подобно циклам предыдущих ИУ, совпадает с внешней ритмикой среды – циклом планетарных колебаний климата 23–35 лет [12] и известным брикнеровским климатическим циклом со средней длительностью порядка 35 лет [13]. Системы ИУ-7 очень разнообразны из-за обилия видов растений и различных климатических условий. В качестве БП для экосистем ИУ-7 служат, например, сукцессии травянистой растительности степей, в ходе которых закономерно изменяется количество видов в различных экологических группах трав, и тем самым формируются необходимые информационные материально-энергетические и временные продукты [6].

В экосистемы помимо растений входят и животные. Они используют в качестве пита-

ния растительную биомассу, формируя тем самым два трофических уровня. Этим уровням отвечают два параллельных БП [4]: образование органического вещества растениями и потребление этого вещества животными. Согласно схеме квантования двух параллельных БП временной цикл здесь составляет три года. Таким образом, в экосистемах дополнительно к основной ритмике ИИО (рис. 2) существуют также и другие ритмики экологических процессов.

**Иерархический уровень 8.** Уровню ИУ-8 отвечают экосистемы более высокого ранга по сравнению с ИУ-7. Он также имеет схему квантования одного БП с тремя фазами (рис. 1, табл.). Длительность временного цикла ИУ-8 равна  $33 \text{ года} \times 33 = 1089 \text{ лет}$ . Так же, как в случае суточного цикла ИУ-4, ежегодного 100-дневного цикла ИУ-6 и 33-летнего цикла ИУ-7, временной цикл ИУ-8 совпадает с наблюдающейся климатической ритмикой порядка 1000–1500 лет [14]. Системы ИУ-8 представлены различными экосистемами, состоящими из разных видов растительности в зависимости от имеющихся климатических и географических зон. БП этих экосистем представляют собой хорошо известные 1000-летние первичные сукцессии, при которых заново формируется почвенный покров и закономерно меняется видовой состав растительности, включая древесную [15]. Следует отметить, что вторичные сукцессии уже выполняются по схеме квантования одного БП с 2 фазами (рис. 1), и их временной цикл длится около  $33 \times 6 \approx 200 \text{ лет}$  [15–16].

**Высокие иерархические уровни.** Следующие более высокие ИУ биосферы из-за отсутствия соответствующих палеоэкологических данных можно предварительно выделить на основе палеоклиматических сведений. Для этого можно воспользоваться известными циклическими изменениями климата и развития органического мира с периодичностью порядка 3–6, 40, 400 и 1200 тысяч лет [14; 17; 18]. Существованию этих циклов могут удовлетворять следующие схемы квантования ИУ (рис. 1):

- один БП с двумя фазами и циклом  $1089 \times 6 \approx 6500 \text{ лет}$  для ИУ-9;
- один БП с двумя фазами и циклом  $6500 \times 6 \approx 39 \text{ тысяч лет}$  для ИУ-10;
- три параллельных БП с циклом  $39000 \times 11 \approx 430 \text{ тысяч лет}$  для ИУ-11;
- два параллельных БП с циклом  $430000 \times 3 \approx 1290 \text{ тысяч лет}$  для ИУ-12.

Последовательность возрастающих по рангу ИУ биосферы, очевидно, ограничена суще-

ствованием самой Солнечной системы, которая в своем развитии также подчиняется информационному закону и имеет цикл взрывов сверхновой в 5 миллиардов лет со схемой квантования 2 параллельных БП [4; 19]. Очевидно, что разрушение планет после каждого взрыва не означает полного уничтожения органической материи, возможно, существовавшей на них. Некоторая часть материи могла быть рассеяна в пространстве, и тем самым «старый» генетический материал получал новый цикл развития на подходящей планете во вновь образованной солнечной системе. Подобная органическая материя (окаменевшие сине-зеленые водоросли) найдена, как известно, в метеоритах [20]. Таким образом, длительность временного цикла наивысшего по рангу ИУ биосферы Земли можно полагать равным циклу взрывов сверхновой в 5 миллиардов лет.

**Развитие биосферы.** Согласно схемам квантования БП (рис. 1) длительность временных циклов каждого ИУ биосферы превышает длительность циклов предшествующего ИУ в определенное число раз. Это означает, что во столько же раз увеличивается и характерная продолжительность всех процессов ИУ по сравнению с предыдущим ИУ. В результате скорость эволюции биосферных систем в прошлом скачкообразно замедлялась по мере построения каждого нового ИУ биосферы.

ИУ биосферы последовательно самоорганизовывались, начиная с молекулярно-генетических ИУ, так, чтобы общая информация каждого ИУ в уравнениях (1) и (2) достигала своего максимума. Все системы, формирующиеся на вновь создаваемом ИУ и не удовлетворяющие информационному закону, выпадали из ИИО биосферы, равно как и процесса ее эволюционного развития, и с неизбежностью разрушались. Таким образом, мы должны расширить концепцию дарвиновского естественного отбора и учесть в ней информационный закон.

Каждый эволюционно сформированный ИУ биосферы характеризуется своим временным циклом, определяемым соответствующей схемой квантования. С другой стороны, циклы ИУ должны совпадать с постоянными ритмами окружающей среды: суточными, годовыми и другими. Каждая биосферная система подчиняется этим двум условиям одновременно путем создания своего собственного времени. Это время называется «квантами жизни» [21], «метаболическим» [22], «биологическими часами» [23] или «реальным биологическим» [11]. Схемы квантования по сути представляют собой

шкалы отсчета собственного времени ИУ, подобно тому как 60 секунд составляют одну минуту, 60 минут – час, 24 часа – сутки и так далее. Другими словами, биосфера формирует свои многоуровневые «биосферные часы», отсчитывающие реальное биологическое время всех биосферных систем. Шкалы этих часов последовательно объединяют друг друга согласно схемам квантования ИУ биосферы (рис. 2). Одновременно они совпадают и с ритмикой основных факторов окружающей среды. Шкалы не меняются, пока существует ИИО биосферы, и определяют все регулярные изменения в ней. Таким образом, для того чтобы оценить текущее состояние биосферы и предсказать ее развитие, необходимо знать, как работают ее часы и какое биосферное время они показывают. Это первая фундаментальная проблема, требующая решения.

Вторая проблема заключается в нахождении для каждого ИУ биосферы информационных материально-энергетических и временных продуктов, переносящих отвечающую этим ИУ информацию (табл.). Решение этой проблемы позволит оценить текущее состояние экосистемных ИУ, нарушенных в результате деятельности человека, и восстановить их при необходимости.

Хорошо известно, что все биосферные системы тесно связаны с окружающей их средой и постоянно ее изменяют. Поэтому они вынуждены сами постоянно адаптироваться к изменяющемуся окружению. Адаптация биосферных систем осуществляется через механизм мутагенеза. Именно мутагенез обеспечивает все ИУ биосферы модифицированными биологическими системами с различными вариациями их организации. Эти системы подвергаются классическому естественному отбору по наилучшей приспособленности к изменившемуся окружению. При отборе динамика всех биосферных систем всегда подчиняется схемам квантования соответствующих ИУ, так как в противном случае системы выпадают из ИИО биосферы и разрушаются. Иначе говоря, на каждом ИУ биосферные системы подвергаются циклической эволюции, что полностью согласуется с традиционными представлениями об эволюции живого вещества [24]. Такие циклы эволюции систем отдельных ИУ вместе образуют сложную эволюционную ИУ-спираль, которая состоит из многих спиралей, наложенных друг на друга согласно схемам квантования биосферных ИУ.

Известные микро- и макроэволюция [25] представляют собой рассмотренные выше

спирали, включенные в ИУ-спираль эволюции биосферы. В соответствии с изложенным мутагенез обеспечивает появление видов организмов как потенциальных структурных элементов информационных продуктов, формируемых на экосистемных ИУ. Тогда перед нами встает третья проблема: каким образом следует использовать традиционную таксономическую классификацию растительного и животного царств для разработки новой классификации организмов, составляющих информационные продукты ИУ биосферы.

В дальнейшем возможно выявление всех ИУ биосферы, в том числе схем квантования и информационных продуктов для этих ИУ. С формальной точки зрения ИУ биосферы следует отсчитывать от ИУ элементарных частиц, который имеет вырожденную схему квантования [5]. Заполнение промежутка от этого ИУ до ИУ с 1-секундным циклом (рис. 2) является задачей физиков и биофизиков. В свою очередь заполнение промежутка между ИУ с 1000-летним циклом и ИУ с 5-миллиардным циклом является задачей палеоэкологов. При этом необходимо выяснение роли различных таксонов растительного и животного царств в формировании информационных продуктов высших ИУ биосферы. Предстоит также трудоемкое исследование и уточнение ИИО у отдельных видов организмов, включая формирование информационных продуктов отдельных ИУ.

В рамках информационно-иерархического подхода очевидно, что современное вмешательство человека в работу экосистемных ИУ эквивалентно включению в ИУ дополнительного параллельного БП (человеческого БП). Это означает изменение схем квантования и временных циклов экосистемных ИУ, что приводит к выпадению измененных ИУ из ИИО биосферы и последующей шаг за шагом деградации более высоких биосферных ИУ. Сейчас экосистемы биосферы подвергаются именно такой деградации, и мы непосредственно сталкиваемся с проблемой сохранения ИИО биосферы.

В качестве общего итога работы можно назвать то, что нами охарактеризованы новые научные области – информационные биохимия, экология и биология. Выяснена эволюционно сформированная ИИО метаболизма растительных клеток. При этом в рамках системного информационно-иерархического подхода найден и охарактеризован давно искомым центральный механизм биологических часов, имеющийся как у отдельных организмов, так и биосферы в целом.

## Литература

1. Кирста Ю.Б. Динамика природных эволюционных систем: Основные принципы организации // Проблемы освоения пустынь. 1990. №5.
2. Кирста Ю.Б. Биосфера и человечество. Барнаул, 1995.
3. Кирста Ю.Б. Устойчивое развитие России: системный информационно-иерархический подход // Экология человека: Духовное здоровье и реализация творческого потенциала личности. Новосибирск, 1998.
4. Kirsta Yu.B. Time-dynamic quantization of molecular-genetic, photosynthesis and ecosystem hierarchical levels of the biosphere // Ecological Modelling. 1992. V. 62.
5. Kirsta Yu.B. Exchange of information in natural hierarchical systems // Ecological Modelling. 1994. V. 73.
6. Кирста Ю.Б. Структурно-функциональная организация биосферы (Информационно-иерархический подход): Дис. ... докт. биол. наук. Днепропетровск, 1991.
7. Biochemical Pathways, 3d Edition /Editor Gerhard Michal. Boehringer Mannheim GmbH Biochemica, 1993.
8. Goodwin T.W., Mercer E.I. Introduction to Plant Biochemistry, 2nd edition. Oxford-New York, 1983.
9. Полевой В.В. Физиология растений. М., 1989.
10. Lehninger A.L. Principles of Biochemistry. New York, 1982.
11. Kirsta Yu.B., Tarabrin V.A. Real biological time and its calculation in wheat // Ecological Modelling. 1994. V. 71.
12. Олейников А.Н. Геологические часы. Л., 1987.
13. Сазонов Б.И. Брикнеровский цикл засух / Труды ГГО. 1979. Вып. 403.
14. Зубаков В.А. Глобальные климатические события плейстоцена. Л., 1986.
15. Odum E.P. Basic Ecology. New York, 1983.
16. Ricklefs R.E. The Economy of Nature. A Textbook in Basic Ecology. Portland, 1976.
17. Максимов Е.В. Проблемы оледенения Земли и ритмы в природе. Л., 1972.
18. Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. Л., 1990.
19. Calvin M. Chemical Evolution: Molecular Evolution Towards the Origin of Living Systems on the Earth and Elsewhere. Oxford, 1969.
20. Сахнин С. Кто выпил воду марсианских каналов? // Свободный курс. 1996. №44.
21. Backman G. Wachstum und Organische Zeit. Leipzig, 1943.
22. Левич А.П. Метаболическое время естественных систем // Системные исследования: Методологические проблемы. М., 1989.
23. Winfree A.T. The Timing of Biological Clocks. New York, 1987.
24. Шмальгаузен И.И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск, 1968.
25. Колчинский Э.И. Эволюция биосферы. Л., 1990.