

# МЕТАЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОГО С ПОЗИЦИЙ КИБЕРНЕТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Гринченко С.Н.

Институт проблем информатики РАН, г. Москва

*Предлагается системное рассмотрение живой природы с информатико-кибернетических позиций: концепция иерархической адаптивной поисковой оптимизации живого. На её базе выявляются характерные времена и размеры биосистем, сравниваются различные теории биологической эволюции, рассматривается метаэволюция (возникновение новых ярусов в иерархии) живого, оценивается длительность соответствующих метафаз, обсуждается связь существующих пространственных биообразований с метафазами их возникновения.*

## 1. Моделирование биологических систем и кибернетика

Исследования в области проблемы возникновения и дальнейшего развития живого, которые проводятся биологами самых различных специализаций, базируются, как правило, на *физических* и *химических* языках и концептуальных представлениях. То есть в биологии неявно принята парадигма (исходная концептуальная схема) использования для объяснения этой проблемы *языков и терминологии физики и химии*. На этом фоне имеющиеся предложения о ее расширении за счет привлечения языка *кибернетики* (см., напр., основополагающие работы И.И.Шмальгаузена, фон Берталанфи и А.А.Ляпунова, фундаментальный труд В.Ф.Турчина [1] и др.) до сих пор не получают достаточного распространения.

Но можно ли описать с необходимой полнотой понятие и проявления живого с помощью понятийного аппарата только физики и химии? Думается, что нет. Не отрицая продуктивности подобного физикалистского подхода, следует отметить, что в ряд авторов (В.С.Степин, А.Т.Шаталов, Ю.В.Олейников, С.В.Мейен и др.) ставят вопрос о коренном пересмотре прежней физикалистской (механистической) картины мира. Например, высказывается мнение, что «...физикалистские, а затем и логико-кибернетические концепции оказывались необходимыми, но не достаточными для понимания объективных особенностей генетических систем» [2]. Таким образом, назрела необходимость существенного расширения спектра языков, применяемых для интерпретации представления о живом.

По моему мнению, для этого необходимо расширить существующую парадигму, прежде всего, за счет привлечения в рассмотрение *междисциплинарных областей знания*, а именно *кибернетики* и *теории сложных систем*. Подобные попытки уже предпринимаются, но в фазе создания моделей (что требует привлечения специальных знаний из областей математики, конкретных направлений технической кибернетики и т.п.) по определению могут быть реализованы лишь специалистами из указанных областей знания, т.е. *не-биологами*. По-видимому, вследствие этого они пока и не достигают своей цели – не воспринимаются большинством биологов как абсолютно необходимый базис для эффективного продвижения их собственных исследований, и не формируют новую *биолого-кибернетическую (биолого-системную)* парадигму представлений о возникновении жизни. Как результат, подобная терминология вообще вытесняется из обращения в данной области исследования.

Более того, в различных прикладных науках в последние десятилетия бытует предубеждение к термину «кибернетика» и содержательному его наполнению. В лучшем случае говорят о достижении на этой базе устойчивых состояний в объекте, гомеостаза и т.п. Тем самым кибернетика (наука об *управлении*), фактически, используется лишь как средство изучения способов введения в некоторый контур регулирования *отрицательной* обратной связи. От подобного неверного представления о *кибернетических системах* следует отказаться, поскольку предмет и возможности кибернетики выходят далеко за эти рамки.

Прежде всего, при рассмотрении таких систем необходимо учитывать наличие в них и *положительных* обратных связей (что обеспечивает их *развитие*). На это указывают многие авторы. Например, Н.Н.Моисеев утверждает, вслед за А.А.Богдановым, что «для развития организационной структуры, будь то социальная или биологическая, необходимы не только отрицательные, но и положительные связи» [3]. В свою очередь, Ф.Хейлиген и К.Джослин отмечают: «Многие из основных идей кибернетики были ассимилированы другими дисциплинами, где они продолжают влиять на научные разработки. Другие важные кибернетические принципы, казалось, имевшие все шансы быть забытыми, тем не менее, периодически переоткрываются или “переизобретаются” в различных областях. Примеры – возрождение нервных сетей, изобретенных кибернетиками сначала в 1940-х, затем в конце 1960-х и снова в конце 1980-х; переоткрытие важности автономного взаимодействия в областях робототехники и искусственного интеллекта в 1990-х; и значение эффекта *положительной обратной связи в сложных системах, переоткрытого экономистами в 1990-х* (курсив мой – С.Г.)» [4].

Но само по себе использование положительной обратной связи в кибернетических системах способно достаточно быстро приводить к возникновению лавинообразного (взрывообразного) роста характеристик соответствующих процессов в них. То есть их введение не является панацеей от всех трудностей, и должно сопровождаться одновременным введением и отрицательной обратной связи (что обеспечивает *устойчивость*).

Именно подобный подход фактически и был реализован в 1960-1970-х гг. рядом отечественных и зарубежных ученых в области *технической кибернетики*, которыми был создан, а в последующие годы – развит такой важный ее раздел, как теория *поисковой оптимизации (экстремального управления)*: это Д.И.Батищев, Р.Буш, Ч.С.Дрейпер, Ю.М.Ермольев, А.Г.Ивахненко, В.В.Казакевич, А.А.Красовский, В.М.Кунцевич, И.Т.Ли, Ф.Мостеллер, Ю.И.Неймарк, А.А.Первозванский, Л.А.Растрингин, Р.Г.Стронгин, А.А.Фельдбаум, Я.З.Цыпкин, У.Р.Эшби, Д.Б.Юдин и др.

К сожалению, теория поисковой оптимизации также не приобрела широкой популярности вне области технических применений. А ведь ее отличительная особенность состоит как раз в том, что, в терминах кибернетической обратной связи, *поиск в контуре регулирования – это попеременная смена ее знака с положительного на отрицательный и обратно*. Тем самым тенденция *развития* (неустойчивости, расходимости etc.), реализуемая *положительной* обратной связью, и тенденция *сохранения* (устойчивости, сходимости etc.), реализуемая *отрицательной* обратной связью, попеременно сменяют друг друга. Вопрос конкретной реализации и выбора текущих параметров контура поискового управления – в том, как долго превалирует та или иная тенденция. То есть, каковы длительности и интенсивности этих режимов в соответствующих условиях функционирования системы управления. А также и в том, кто (или что) и каким образом переключает указанные режимы, т.е. какими средствами реализуется блок вычисления целевой функции управления.

При собственно поисковой оптимизации существует задача определения момента, когда поиск следует завершить. Поскольку положение экстремума целевой функции а priori неизвестно, определять этот момент с помощью задания величины допустимого отклонения от цели невозможно. Но это можно делать по достижению числом последовательных неудачных поисковых шагов (или проб) некоторого заранее определенного предела. Последнее можно интерпретировать как признак того, что поиск производится вблизи экстремального значения целевого критерия.

Указанная задача отсутствует в системах *экстремального управления*, отслеживающих экстремум оптимизируемого критерия *перманентно*. Но здесь возникает новая проблема выбора наилучшего соотношения между двумя противоречивыми требованиями: минимизации времени переходного процесса в область экстремума из произвольной точки (так называемых «потерь на поиск») и минимизации отклонения оптимизируемой величины

от экстремального значения в установившемся режиме (так называемых «потерь на рысканье»). Потери на поиск уменьшаются с ростом величины поискового шага. Однако потери на поиск характеризуют работу алгоритма лишь на подходе к экстремуму. Алгоритм, имеющий наименьшие потери на поиск, быстро выведет систему в район экстремума. Но на этом не заканчивается экстремальное управление: от алгоритмов поиска требуется надежная работа в районе экстремума, позволяющая отслеживать его «блуждание» или «уплывание». Потери на рысканье существенно зависят от величины поисковых шагов, поэтому для снижения этих потерь размеры поисковых шагов следует уменьшать. Это находится в противоречии с требованием быстрогодействия (для повышения которого величину рабочего шага нужно, наоборот, увеличивать). Отсюда следует, что выбор компромиссных значений величин шагов на всей траектории поиска следует проводить адаптивно, с учетом особенностей поведения оптимизируемого объекта в процессе поиска [5].

Среди направлений дальнейшего развития работ в области поисковой оптимизации важное место занимают так называемые *бионические* алгоритмы, базирующиеся на информации о структуре и поведении различных биологических объектов. Понятно, что инженеры-разработчики используют при этом не «истинные» свойства таких объектов, а те или иные особенности современного модельного представления о них. Чаще это происходит в упрощенной форме «биологических метафор», которые применяются в тех же целях и в других научных областях, в частности, в социологии. Среди разнообразных бионических алгоритмов поисковой оптимизации следует упомянуть «эволюционный подход» (Г.Бремерман), «эволюционное моделирование» (Л.Фогель, А.Оуэнс, М.Уолш; И.Л.Букатова с соавт.), «эволюционное формообразование» (А.И.Половинкин), «эволюционную глобальную оптимизацию» (Э.М.Куссуль, А.Лук; Р.Джарвис), «эволюционную адаптацию коллективом вероятностных автоматов» (Ю.И.Неймарк с соавт.), «эволюционную стратегию» (И.Рехенберг, Г.-П.Швэфель, К.Беллман, Дж.Борн), «генетическую адаптацию» (У.Петерзон, К.Восс, К.Вебер), «генетические алгоритмы» (Дж.Холланд, Д.Голдберг, Д.И.Батищев, В.М.Курейчик, С.А.Исаев и др.) и тому подобные. Использование именно эволюционной и генетической терминологии оказалось удобным и достаточно эффективным языком при синтезе новых разновидностей алгоритмов поисковой оптимизации. Среди авторов бионических работ в области поисковой оптимизации, опирающихся на аналогии с иными биологическими объектами, существенный вклад внесли В.Ф.Короп, Л.Н.Фицнер, Л.А.Растринин, Н.П.Дидиченко и др. (подробности и ссылки на литературу по этой тематике см. в [6]).

Здесь необходимо отметить, что факт проведения столь большого числа достаточно успешных *инженерных разработок в области поисковой оптимизации*, имеющих в своей основе пусть и крайне упрощенные, но все же *модели биологических системных процессов*, представляется весьма показательным. По-видимому, некая глубинная связь идеологий этих феноменов – кибернетического поискового оптимизационного механизма и адаптивных механизмов живого – существует объективно. Но в рамках указанных вполне прагматических, технико-ориентированных разработок, задача построения адекватных моделей собственно биологических явлений просто не ставится. Следовательно, опираясь на отмеченную их внутреннюю связь, становится актуальной именно такая постановка вопроса: встает задача синтеза модели некоторого биоявления/биопроцесса на базе механизмов поисковой оптимизации. И первым биоявлением в этом ряду, несомненно, является *приспособительное поведение живых систем*.

Все это перекликается и с недавно появившимися в философской литературе предложением (восходящим к Анаксагору и Платону и базирующимся на огромном материале последующих поколений исследователей всех отраслей знания) о конституировании новой трансдисциплинарной науки – *оптимологии* [7]. Автор этого предложения О.С.Разумовский отмечает, что «исходной предпосылкой оптимологии должен быть эмпирический факт: *главный вектор* существования, организации, функционирования и

развития всех живых систем, общества и человека, а также смешанных или гибридных систем (...) – *интенция к оптимизации* (к оптимуму)» [там же]. При этом в качестве одной из самых трудных методологических проблем он рассматривает проблему *выбора прототипа* для идеального объекта оптимологии, без решения которой нельзя «вообще конструировать понятийно-номологический базис теории» [там же]. Имеется в виду выбор единого прототипа, к которому можно было бы потом редуцировать все остальные типы бихевиоральных (поведенческих) систем. Позволю себе высказать предположение, что в качестве базиса выбора такого прототипа (фактически, языка, адекватного оптимизационному подходу или *оптимизационному мышлению*) как раз и может выступить предлагаемая концепция.

Реализуя указанный подход, необходимо, прежде всего, пересмотреть трактовку *адаптации* как процесса реагирования организма на изменение только окружающей его внешней среды (с целью улучшения его шансов на выживание и воспроизводство). Необходимо расширить это понятие, включив в него фактор реакции на изменения и внутренней среды организма (а также подобных ему целостных системных образований – клетки, биогеоценоза, Биосферы в целом и др.) – изменений, реализующих поиск наиболее энергетически предпочтительного его состояния.

Таким образом, предлагаемый подход к моделированию природных (замечу кстати – и общественных!) систем «*достаточно высокой сложности*» базируется на единственной *первичной предпосылке*, не вытекающей ни из каких-либо «еще более первичных» оснований и/или теорий. Она состоит в предложении постулировать, что «*первичное фундаментальное свойство природной системы* в целом и всех ее основных подсистем в отдельности – *обобщенная адаптивность*, т.е. свойство перманентной приспособляемости систем Природы и Человечества, на всех характерных уровнях их интеграции, к изменениям их *внутренней и внешней среды*». Обычно *адаптивность* рассматривают как свойство какой-либо системы приспосабливаться лишь к *внешним* воздействиям на нее. Но в рамках предлагаемого подхода именно ее расширенная, *обобщенная* трактовка, учитывающая изменения и внутренней среды, имеет кардинальное значение.

## 2. Концепция иерархической адаптивной поисковой оптимизации систем «достаточно высокой» сложности

Указанные соображения, а также ряд их конкретизирующих, используются в рамках концепции рассмотрения соответствующего обобщения теории поисковой оптимизации, а именно иерархической поисковой оптимизации, как имманентного механизма реализации приспособительного (адаптивного) поведения в природных системах [6]. Согласно этой концепции, соответствующую модель Мироздания можно представить себе в виде некоторой иерархической структуры специального вида, а модель живого – в виде некоторого фрагмента последней, обладающей рядом отличительных свойств. Рассмотрим все эти вопросы более подробно.

### 2.1. Основные положения концепции

Как следствие постулата *обобщенной адаптивности*, в рамках предлагаемой концепции предлагается *интерпретировать* сложное (зачастую «антиинтуитивное» или «контринтуитивное») приспособительное поведение тех или иных составляющих иерархических систем, характерных для естественной и «искусственной» природы, в терминах поведения соответствующих составляющих *иерархического механизма адаптивной поисковой оптимизации*. Последний является обобщением известного в технической кибернетике «неиерархического» механизма. Л.А.Растринин сформулировал его в свое время [8] применительно к решению «неиерархической» задачи адаптации (преимущественно для технических приложений) как контур оптимизации – совокупность целевых функций (экстремального типа, типа равенств и типа неравенств), переменные которых рекуррентно зависят от предыстории поиска (см. рис. 1). В общем случае:  $X$  -

состояние среды;  $Y$  - состояние объекта  $F^0$ ;  $U$  - его адаптируемые факторы;  $Z^*$  - цель адаптации;  $U_{N+1} = \psi(U_N, H'_N, G'_N, Q'_N)$ , где:  $\psi$  - алгоритм рекуррентной адаптации.

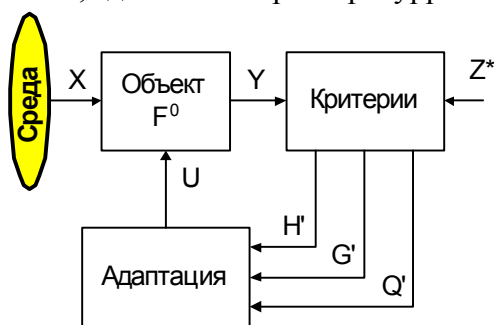


Рис.1. Блок-схема адаптации объекта по Л.А.Растригину

Оформление списка литературы. В тексте тезисов доклада, просьба указывать ссылку на пункт списка литературы в квадратных скобках, например: [1]. Для оформления списка литературы используйте стили, используемые в следующем примере.

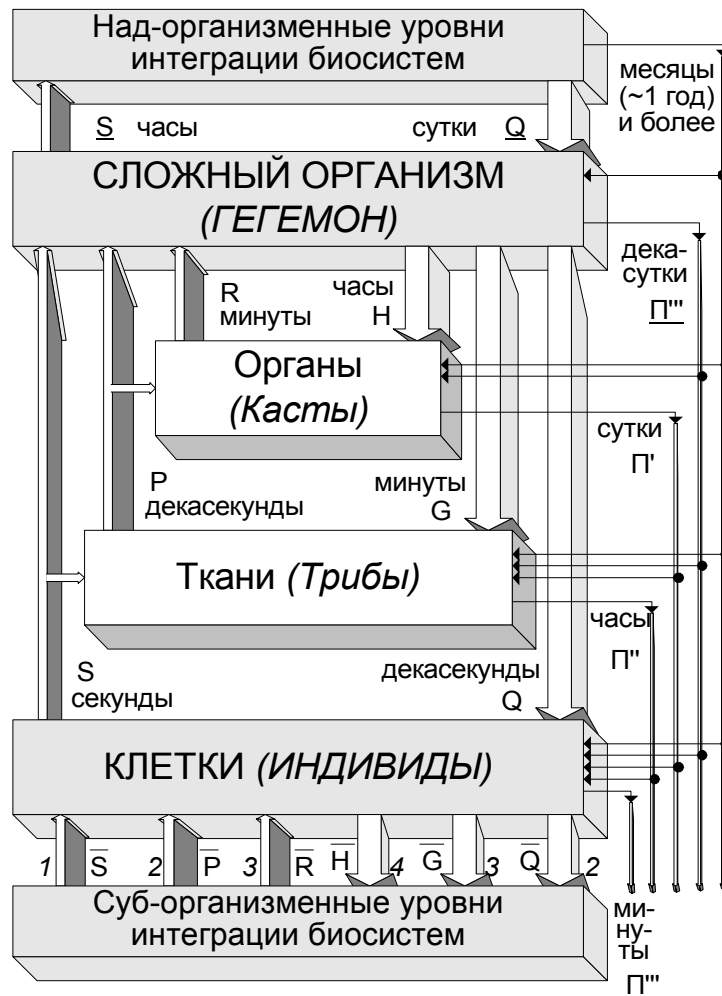
Но задача адаптации для *иерархической* (биологической либо социально-технологической) системы «достаточно высокой» сложности *в целом* выглядит существенно более сложной.

Прежде всего, для ее описания необходимо ввести понятия *основного уровня интеграции (ОУИ)* в иерархии соответствующей системы, и *промежуточного уровня интеграции (ПУИ)*. Принципиальные различия объектов, относящихся к ОУИ и ПУИ, состоят в том, что первые: а) существенно более *целостны*; б) *оперируют соответствующей информацией* – сигналами *специфической функциональной активности: генерируют* (как *интегральный фактор, отражающий их специфическое поведение*), *передают* (себе подобным, т.е. объектам того же яруса), *воспринимают* (от себе подобных), – а также и запоминают, но последнее делают и ПУИ; в) обладают *фундаментальным свойством задавать целевые критерии поисковой оптимизации* своего приспособительного поведения для “нижележащих” (т.е. непосредственно “вложенных” в ОУИ) элементов трех ярусов: двух смежных ПУИ и смежного нижележащего ОУИ.

Примеры систем ОУИ: Биосфера Земли, биогеоценозы, многоклеточные организмы, сложные клетки (эвкариоты – вслед за Ю.И.Чайковским [9] используют именно этот термин, а не «эукариоты»), примитивные клетки (прокариоты) и т.п. Примеры систем ПУИ: биогеосферные компартменты (природные зоны), биогеосферные субкомпартменты (биомы), биогеоценотические компартменты (парцеллы/консорции), биогеоценотические субкомпартменты (биоценозы/популяции), компартменты многоклеточных организмов (органы/системы органов), субкомпартменты многоклеточных организмов (ткани), клеточные компартменты, клеточные субкомпартменты (органониды/органеллы) и т.п.

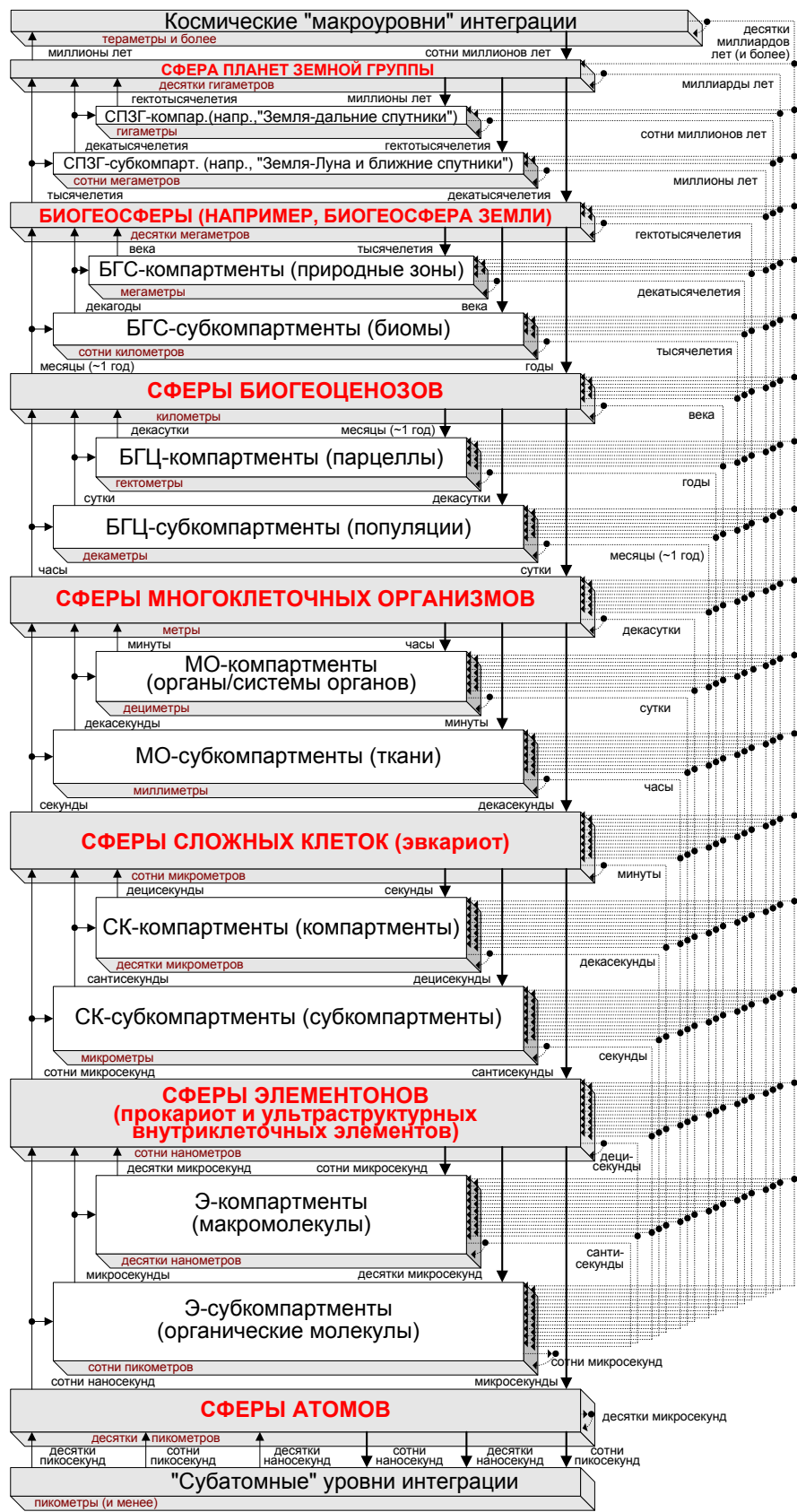
Далее, для описания этой задачи следует ввести понятие «*иерархического контура оптимизации*», или более компактно «*супраконтур оптимизации*», который содержит следующие компоненты и связи (см. рис. 2, на котором показан пример такого супраконтура «МНОГОКЛЕТОЧНЫЙ ОРГАНИЗМ-КЛЕТКИ»):

- два яруса ОУИ-систем, “высший”, на котором единственный компонент (далее - *ГЕГЕМОН*) задает критерии оптимизации для всего супраконтура, и “низший”, на котором множество компонентов (далее - *ИНДИВИДОВ*) реализуют поисковую активность в супраконтуре;
- две яруса ПУИ-систем, также реализующих поисковую активность, но интегрально: они представляют собой объединения (различной степени интеграции) множеств “низших” ОУИ-систем; причем ярус “высшей” из такой пары представляет собой сравнительно неоднородную структуру (далее - *Касты*), а ярус “низшей” - сравнительно однородную (далее - *Трибы*);



Примечания: а) стрелки, направленные вверх, имеют структуру «многие - к одному», направленные вниз - «одна - ко многим»; б) S, P, R - активности, П - память; в) 1 - сотни микросекунд, 2 - сантисекунды, 3 - децисекунды, 4 - секунды

Рис.2. Схема контура иерархической поисковой оптимизации «СЛОЖНЫЙ ОРГАНИЗМ–КЛЕТКИ»



ПРИМЕЧАНИЕ: стрелки, направленные вверх, имеют структуру (отражают отношение) «многие - к одному», направленные вниз - «один - ко многим».

Рис.3. Схема механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации в живой природе

- три сугубо внутренние (для супраконтур) переменные типа “многие к одному”, отражающие поисковую активность приспособительного поведения в рамках супраконтур, задаваемые компонентами обоих ПУИ-ярусов (*Кастами*, *Трибами*) и “низшим” ОУИ-ярусом (*ИНДИВИДАМИ*), и действующие соответственно на вышележащие компоненты обоих ПУИ-ярусов (*Трибы*, *Касты*) и “высшего” ОУИ-яруса (*ГЕГЕМОИ*), компоненты верхнего в паре ПУИ-яруса (*Касты*) и “высшего” ОУИ-яруса (*ГЕГЕМОИ*), и на компонент “высшего” ОУИ-яруса (*ГЕГЕМОИ*);
- три сугубо внутренние (для супраконтур) переменные типа «один ко многим», отражающие целевые критерии приспособительного поведения в рамках супраконтур, задаваемые компонентом “высшего” ОУИ-яруса (*ГЕГЕМОНОМ*) и действующие на нижележащие компоненты ПУИ-ярусов (*Касты*, *Трибы*) и “низшего” ОУИ-яруса (*ИНДИВИДЫ*);
- три переменные типа “один ко многим”, генерируемые внутри супраконтур, но влияющие не только на его компоненты, но и на компоненты всех супраконтуров, вложенных в рассматриваемый; эти переменные отражают *системную память* о траектории процесса приспособительного поведения компонентов каждого из ярусов рассматриваемого супраконтур, а также о параметрах собственно механизма поисковой оптимизации (лимитирования и закона изменения величины поискового шага, глубины памяти поискового алгоритма и т.п.).

В связи с тем, что любой ОУИ в таких иерархических системах выступает в двух ипостасях: как синоним «объекта» (ГЕГЕМОИ) по отношению к включенным в него «низшим» ПУИ и ОУИ, и как синоним «элементарной поисковой единицы» (ИНДИВИДА) по отношению к «высшим» ПУИ и ОУИ, в состав которых он сам входит, необходимо в каждом случае различать данные структурно-функциональные проявления. Для этого и введены термины ГЕГЕМОИ (для акцентирования первой ипостаси объекта ОУИ) и ИНДИВИДЫ (для акцентирования второй). Тогда контур супраоптимизации (или супраконтур) определяется как совокупность четырех последовательно смежных уровней интеграции (ОУИ–ПУИ–ПУИ–ОУИ), наивысший из которых, или ГЕГЕМОИ, задает целевые критерии (супраоптимизации) супраконтур, а остальные – последовательно вложенные в ГЕГЕМОИ уровни Каст, Триб и ИНДИВИДОВ, – выступают в роли генераторов поисковой активности в супраконтуре. Под последними понимаются механизмы выработки управляющих воздействий на ГЕГЕМОИ (задания величин коэффициентов чувствительности к специфическим входным воздействиям), опосредованно влияющих на инструмент вычисления интегральных энергетических оценок его приспособительного поведения – указанных целевых критериев экстремального ( $Q$ ), типа равенств ( $G$ ) и типа неравенств ( $H$ ).

Отсюда естественным образом вытекает и понятие *супрасистемы* как системы, состоящей из совокупности (иерархии) «супраконтуров», реализующих процесс *супраоптимизации* (см. рис. 3). Формальное описание процесса иерархической *адаптивной поисковой оптимизации* применительно к «универсальному» супраконтуре приведено в [6]. Здесь же ограничимся для характеристики исследуемых иерархических структур лишь языком графических схем.

К главным особенностям предлагаемой задачи можно отнести следующие:

1. ее принципиальную *трехконтурность*. Каждый из трех целевых критериев замыкается на свою переменную (изменяющуюся в своем характерном темпе), переменные же находятся в иерархической связи между собой (реализующие их ярусы «вложены» один в другой). Очевидно, что отказ от объединения поисковых переменных  $S$  в агрегаты  $P$  и  $R$  (плюс игнорирование системной памяти высших уровней в иерархии) сводит задачу (2) к задаче (1);
2. ее принципиальную *незамкнутость*. Параметры системной памяти поискового алгоритма задаются вышележащими в иерархии системами различных уровней/ярусов, и правильность (более того – и сама возможность!) решения задачи

адаптации (средствами иерархической оптимизации) прямо зависит от их учета либо игнорирования. Конечно, с ростом номера иерархического уровня (считая его «снизу» «вверх» – рис. 3) характерные времена происходящих там адаптивных процессов всякий раз существенно (примерно на порядок) увеличиваются. Это позволяет при их моделировании – в строго ограниченных пределах – заменять указанные переменные величины константами. Но тогда следует внимательно следить, чтобы зона прогнозирования поведения моделируемой иерархической системы не выходила бы за рамки, задаваемые подобными упрощениями.

Таким образом, приведенная выше задача иерархической поисковой оптимизации системы «достаточно высокой» сложности отражает фундаментальные для нее особенности «многотемповости» процессов ее приспособительного поведения. Этот факт сам по себе, безотносительно к трудностям воспроизведения собственно структуры и связей моделируемой системы (по отношению к которым структура оптимизатора выступает в качестве своеобразного «каркаса»), чрезвычайно затрудняет (если не делает на современном этапе невозможными!) аналитические исследования поведения такой оптимизационной системы. Даже имитационные эксперименты с супрасистемами из нескольких супраконтуров представляются весьма сложной проблемой. В частности, визуализацию их результатов – в реальном модельном времени – весьма трудно реализовать. Это показали исследования «алгоритмической» модели живой клетки, разработанной на данной основе, т.е. включающей механизм поисковой оптимизации (конкретно – матричного случайного поиска) энергетического критерия ее функционирования [10].

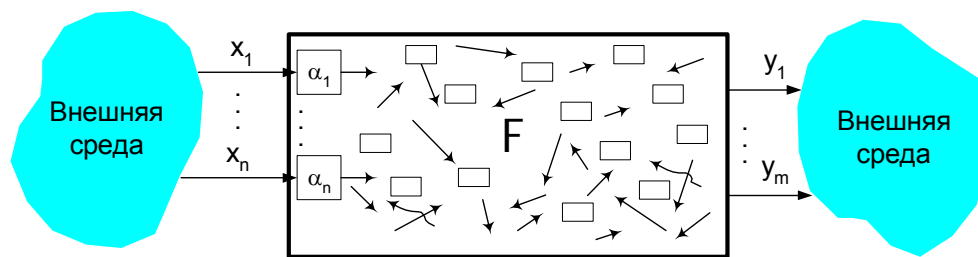
Очевидно, что *непосредственное* модельное воспроизведение *совокупности* всех этих процессов в природной (живой) либо в социально-технологической системах современными средствами вычислительной техники невозможно. Даже в далекой перспективе, если и когда будут созданы иерархически организованные параллельные вычислительные системы и сети, можно надеяться на появление возможности моделировать лишь те или иные иерархические фрагменты таких систем. Но и в ожидании воплощения этих перспектив вполне возможно и целесообразно использовать *идеологию* предлагаемой «оптимизационной» концепции в качестве языка системного описания как собственно функционирования систем «достаточно высокой» сложности, так и их «метаэволюционного» развития.

## 2.2. Как соотносятся «обычные» и оптимизационные модели

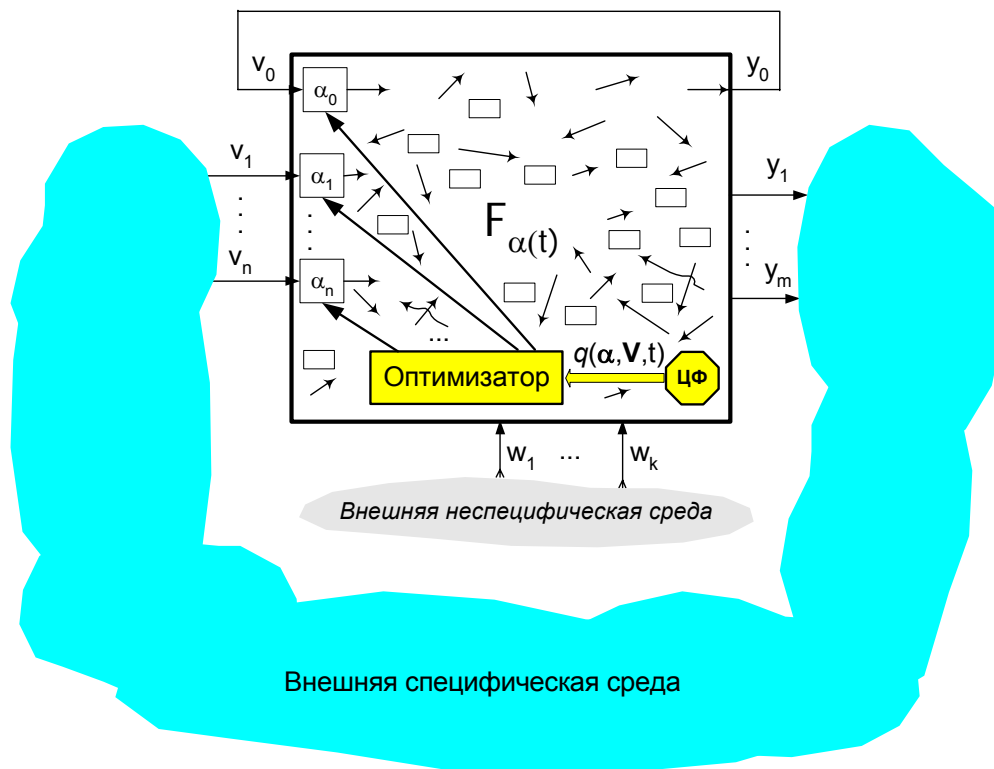
Может возникнуть вопрос: насколько оптимизационная модель соответствующего объекта отличается от типовой, знакомой по аналогичным приложениям? Не отменяет ли ее появление имеющихся наработок? Проведем их сравнение (см. рис. 4).

Простейшую схему *типовой* модели некоторого *неиерархического* объекта можно представить себе следующим образом:  $Y = F(X)$  (обозначения приведены на рис. 4а).

Принципиальное отличие *оптимизационной* модели от типовой заключается во введении в ее состав дополнительно всего 2-х основных блоков: блока вычисления целевой функции (ЦФ) энергетического характера  $q(\alpha)$  и собственно блока оптимизации – генератора поисковой переменной  $\alpha$ . При этом два последних блока *непосредственно* соединяются между собой: выход первого (целевая функция  $q$ ) поступает на вход второго (оптимизатора), управляя им. Что же касается связи между выходом оптимизатора и входом блока вычисления целевой функции, то как раз здесь и находится все разнообразие элементов модели и связей между ними, характерное в том числе и для «типовой» модели объекта.



а) простейшая схема *типовой* модели биологического объекта  $Y=F(X)$   
 Примечания:  $x_i$  - входы,  $y_j$  - выходы;  $\alpha_i$  - коэффициенты чувствительности к входным воздействиям; отдельные стрелки и прямоугольники обозначают (здесь и ниже) произвольную внутреннюю структуру модели



б) упрощенная схема *оптимизационной* модели сложного биообъекта  $Y=F_{\alpha(t)}(V,W)$   
 Примечания:  $v_i$  - специфические входы,  $w_k$  - неспецифические входы,  $y_j$  - выходы;  $\alpha_i$  - коэффициенты чувствительности к специфическим входным воздействиям (задаются оптимизатором);  $q(\alpha_0, v_0, \alpha_1, v_1, \dots, \alpha_n, v_n, t)$  - целевая функция;

Рис.4. Упрощенные схемы *типовой* и *оптимизационной* моделей некоторых биообъектов

Таким образом, два вышеуказанных блока образуют некоторый «каркас» модели, обеспечивающий ее приспособительное поведение. Все же остальное разнообразие функциональных связей, отражающих специфику конкретного объекта, введение такого «каркаса», вообще говоря, непосредственно не затрагивает. Конечно, рассмотрение объекта как самооптимизирующегося само по себе является источником новых идей относительно структуры его модели и предложений по наиболее адекватному их воплощению, но, повторюсь, оптимизационная модель – это соответствующее расширение (*настройка*) типовой.

Другой ракурс их сравнения: переходная функция  $F$  типовой модели *фиксирована* (именно ее часто и называют *моделью* объекта). В оптимизационной же модели переходная функция  $F_{\alpha(t)}$  зависит от поисковой переменной  $\alpha$ , перманентно изменяющейся блоком оптимизации. В ситуации *найденного* устойчивого состояния объекта, когда поисковый процесс представляет собой лишь небольшие рыскания в районе экстремума оптимизируемой функции  $q$ , изменения переходной функции  $F_{\alpha(t)}$  также будут весьма

малыми. Тем самым воспроизводится вариант, близкий к типовому (т.е. с фиксированной переходной функцией  $F$ ). В ситуации же *поиска* такого устойчивого состояния переходная функция  $F$  изменяется слишком значительно, и ее фиксация невозможна из-за неминуемой потери принципиально важной информации о поведении моделируемого объекта.

### 2.3. О характерных временах и размерах биологических систем

Итак, в рамках предлагаемой концепции введен некий формализм, опирающийся на представление процессов в биологической системе – в частности, в организме – как итеративного оптимизационного процесса, происходящего сразу в нескольких характерных темпах. Эти темпы определяются «привязкой» соответствующих процессов как к тому или иному уровню в иерархии природной системы, так и к его месту в оптимизационном супраконтуре.

Весьма важное значение имеет тот факт, что значения этих характерных времен супраоптимизационных процессов сводятся (в среднем) к равномерной последовательности, с шагом примерно на порядок. Другими словами, можно постулировать, что «в модели иерархической оптимизации природных систем (реализации их приспособительного поведения) механизмы восприятия и интеграции специфической информации, а также механизмы выработки системной памяти характеристик оптимизационных процессов, связывающих *смежные* уровни интеграции (ярусы) в системе, обладают свойством *инерционности* (“сглаживания” темпа изменения) на некоторую величину, примерно равную 10-20». Последнее значение соответствует практике применения адаптивных алгоритмов поисковой оптимизации в технике (в частности, при решении задач автоматизированного проектирования различных технических конструкций). Эта практика показывает, что максимальная эффективность оптимизационного процесса достигается, если характерное замедление двух смежных процессов адаптации (первичной, или собственно оптимизации – параметрической – структурной) составляет примерно 10-20 раз.

В свое время А.В.Жирмунский и В.И.Кузьмин, изучая критические режимы в биосистемах, собрали огромное число экспериментальных фактов, свидетельствующих о том, что темпы большого числа наблюдаемых биологических процессов соотносятся как  $e^e = 15,15426\dots$  [11]. Более того, им удалось получить эту величину аналитически (не привлекая, впрочем, для этого каких-либо предположений об оптимизационном характере соответствующих процессов).

Опираясь на тот факт, что рассматриваемые нами супраоптимизационные процессы в природных системах также могут рассматриваться как содержащие некие критические точки, а также на близость указанной величины к интуитивно необходимому и практически подобранному (для «развязки» управленческих процессов во времени) изменению «на порядок», я и предлагаю *интерпретировать* величину соотношения относительно дискретных *характерных времен* (или *временных шагов*), с которыми изменяются соответствующие оптимизационные процессы в иерархической системе – как величину, близкую к  $e^e$  (это же справедливо и для пространственных характеристик природных систем – см. рис.3).

Но здесь необходимо сразу же указать, что проведенные на рис. 3 временные и пространственные ряды следует рассматривать лишь как *идеальные оценки*, задающие некоторый *базис* в указанных пространствах переменных, а не как требования к их *точным* значениям в реальности.

Это следует, прежде всего, из интерпретации их как параметров соответствующих супраконтуров поисковой оптимизации, что *не накладывает* на их величины слишком уж сильных ограничений и *не требует* от них высокой *точности*: контур будет работать и при значительном (естественно, в «разумных» пределах) уклонении этих параметров от расчетных (правда, эффективность такой работы будет ниже, чем при идеальном соотношении пространственно-временных параметров). Более того, отсюда напрашивается

мысль об использовании оценивания отклонения той или иной биоструктуры от ее *оптимального* (в указанном выше смысле) значения именно с помощью оценки рассогласования реально наблюдаемых пространственно-временных величин биосистем от расчетных значений.

Это следует и из того факта, что для «привязки» указанных рядов к реальному миру с *физической точки зрения*, как представляется, единственно оправдан выбор в качестве начал их отсчета «фундаментальной (гравитационной, Планковской) длины  $l_f$ » и «фундаментального времени» или «планктеона» (времени, за которое свет проходит расстояние  $l_f$ ), а никоим образом не существующих реализаций тех или иных космических или, тем более, земных объектов. То есть все дальнейшие совпадения рассчитанных величин с реальными, получается, нужно относить как раз к оптимальности тех или иных наблюдаемых биоструктур.

#### 2.4. О теориях биологической эволюции

Ситуация с «общепринятостью» эволюционных теорий представляется на сегодняшний день парадоксальной. С одной стороны, дарвинизм и его сегодняшняя развитая форма – синтетическая теория эволюции (СТЭ) – подвергаются серьезной критике в весьма важных аспектах этих теорий. С другой стороны – реакция биологов-эволюционистов на эту критику практически отсутствует: в научных изданиях эта критика игнорируется, в учебниках (и не только в школьных, но и в вузовских) о дарвинизме пишут как о полностью подтвержденной фактами научной теории, и т.д., и т.п.

Между тем, вот что, например, пишут о трудностях СТЭ и неodarвинизма. Чтобы не быть голословным, приведу лишь две цитаты, в которых расставлены большинство нужных, с моей точки зрения, акцентов: «Существенный вклад в формирование системологии внес Чарльз Дарвин, обосновав принцип естественного отбора и дивергенции в эволюции. Более чем вековая дискуссия о значении естественного отбора в эволюции, была завершена признанием этого принципа как основополагающего в области саморазвития материи, в том числе и на молекулярном уровне. Но в рамках дарвиновской теории не была решена проблема появления новых признаков. Эта наиболее сложный вопрос биологии стал ареной борьбы между материалистическими и идеалистическими направлениями в естествознании. Пожалуй, первым исследователем, постулировавшим эволюцию как закономерное свойство самих систем к саморазвитию, был Л.С.Берг (1922). Он полагал, в противовес господствующим представлениям дарвинистов, что *“...создание все более и более совершенных форм есть имманентное свойство живой природы”*, что основой является *“...внутреннее начало, лежащее в самих организмах, а не привносимое путем соединения частей и воздействий внешнего мира”*. Эти представления до сих пор не получили широкого признания. Согласно современной СТЭ, в основе ее лежит накопление случайно возникших под влиянием повреждающих факторов среды повреждений наследственного аппарата. Но такой механизм не универсален (Воронцов, 2000) и тем более он не может быть распространен на предбиологические этапы эволюции, что сужает рамки эволюции организменным уровнем организации материи» [12].

Еще цитата (из послесловия к новому изданию, 2002 года, «Суммы технологии» Станислава Лема): «Минувшие со времени создания “Суммы...” (1967 год – С.Г.) десятилетия никак не отразились на общих представлениях о процессе эволюции, в то время как история жизни на Земле была в значительной степени переписана... на сегодняшний день не существует сколько-нибудь разумной рабочей гипотезы, позволяющей объяснить биогенез и “запуск” механизма биологической эволюции (...) Критику “классической теории эволюции” можно продолжать и далее. Следует, однако, сказать прямо, что альтернативного механизма пока не предложено. Применение к эволюционному процессу аппарата теории систем позволило получить ряд любопытных результатов, но все они носят

“гомеостатический” (курсив мой – С.Г.) характер, то есть описывают устойчивость, а не изменчивость экосистем» ([13], стр. 658-661).

Надежду на скорый прогресс в этом вопросе вселяет тот факт, что понятие «поисковый оптимизатор» само по себе является кардинальным обобщением довольно распространенного понятия «гомеостат», позволяя достигать не только *устойчивости* в системе, но и ее *изменчивости* (посредством перманентного переключения знака «обратной связи» в соответствующие моменты времени). А реализация «поискового оптимизатора» с *памятью*, т.е. в форме *адаптивного случайного поиска*, тем более в *иерархическом* варианте, позволяет надеяться на получение при моделировании эволюционных механизмов – с его помощью – принципиально новых результатов.

Таким образом, с моей точки зрения, путь к преодолению этих проблем находится именно в русле системного подхода, а конкретно – в *синтезе* дарвинизма и номогенеза Л.С.Берга на информатико-кибернетической основе. То есть на базе представления об эволюции как о процессе *поисковой оптимизации* живого по энергетическим критериям, которая необходимо учитывает *системную память* на всех уровнях иерархии живого [6]. Другими словами, указанный синтез может быть произведен на базе концепции *иерархической адаптивной поисковой оптимизации природных систем*. Последняя позволяет снять многолетнее недоразумение – рассмотрение дарвинистских и номогенетических теорий эволюции живого как альтернативных, объединяя указанные подходы в рамках единой схемы. Именно *объединение данных теорий эволюции в общую теорию на базе кибернетических (оптимизационных) представлений* дает возможность с единых позиций объяснить многочисленные эмпирические факты, часть из которых противоречат дарвинизму, а часть – номогенезу.

Помимо прочего, этот синтез позволяет при объяснении процессов *эволюции* живого отказаться от искусственного, неоперационального и тавтологичного понятия «приспособленности» (кстати говоря, формулировку которого Дарвину предложил Спенсер – см. [14], стр. 73), заменив его вполне измеримым и универсальным понятием *энергетических характеристик* соответствующих биологических систем.

Кроме того, иерархическое «оптимизационное» представление о приспособительном поведении биологических систем позволяет не только увязать в одно целое существенно «разновременные» процессы эволюции и «классической» адаптации как относящиеся к различным уровням интеграции живого (т.е. дав им общую кибернетическую трактовку в рамках данной схемы). «Направленность» и «канализируемость» эволюционного процесса трактуются здесь соответственно как тенденция стремления (в среднем) к экстремумам целевых функций (энергетического характера) на всех уровнях интеграции живого, и как влияние целевых ограничений на этот процесс. Наличие же системной памяти на всех ярусах иерархии реализует операцию кумулятивного накопления опыта такого эволюционного процесса.

Одним из следствий такого представления является уточнение используемых понятий: термин «эволюция» отличается от термина «адаптация организма» лишь значениями характерных времен и пространственных размеров: «эволюция» относится к супраконтурам «БИОГЕОЦЕНОЗ-ОРГАНИЗМЫ» и «БИОГЕОСФЕРА-БИОГЕОЦЕНОЗЫ», а «адаптация организма» - естественно, к супраконтуре «ОРГАНИЗМ-КЛЕТКИ». *Кибернетически* же эти процессы *принципиально*, т.е. в своей *основе*, не отличаются.

Другим таким следствием является необходимость различать в общепринятом понятии «эволюция» два совершенно различных аспекта: эволюцию *уже существующей* иерархической структуры, и возникновение *новых* уровней в иерархии живого (в историческом прошлом Земли, и, предположительно, в будущем). Этот последний процесс удобно назвать «*метаэволюцией*» живого.

### 3. Метаэволюция живого

#### 3.1. Метаэволюция: определения необходимых терминов

Для удобства изложения последующего материала необходимо дать определения вновь вводимым терминам, опираясь при этом на введенное ранее определение *супрасистемы*. Эти определения конкретизируют введенное В.Ф.Турчиным [1] понятие «метaperехода» – в соответствии с потребностями предлагаемой концепции.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1.** «Назовем *биологической метаэволюцией*, или *метаэволюцией живого*, такой процесс его перманентного развития и усложнения, характерным признаком которого является возникновение *новых (наивысших)* иерархических *уровней/ярусов* в супрасистеме живого и усложнение вложенных в них ранее возникших. К этим уровням/ярусам относятся:

1. Органические молекулы, или субкомпарменты “ЭЛЕМЕНТОНА”;
2. Макромолекулярные структуры, или компарменты “ЭЛЕМЕНТОНА”;
3. “ЭЛЕМЕНТОНЫ” (“ультраструктурные внутриклеточные элементы”, автономные прокариоты);
4. Субкомпарменты СЛОЖНОЙ КЛЕТКИ;
5. Компарменты СЛОЖНОЙ КЛЕТКИ;
6. СЛОЖНЫЕ КЛЕТКИ (эвкариоты);
7. Ткани, или субкомпарменты МНОГОКЛЕТОЧНОГО ОРГАНИЗМА;
8. Органы/системы органов, или компарменты МНОГОКЛЕТОЧНОГО ОРГАНИЗМА;
9. МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ;
10. Популяции, или субкомпарменты БИОГЕОЦЕНОЗА;
11. Парцеллы, или компарменты БИОГЕОЦЕНОЗА;
12. БИОГЕОЦЕНОЗЫ;
13. Биомы, или субкомпарменты БИОГЕОСФЕРЫ ПЛАНЕТЫ;
14. Природные зоны, или компарменты БИОГЕОСФЕРЫ ПЛАНЕТЫ;
15. БИОГЕОСФЕРЫ ПЛАНЕТ;
16. Зоны “Околопланетного” Космоса, или субкомпарменты “БЛИЖАЙШЕГО” КОСМОСА;
17. Зоны “Промежуточного” Космоса, или компарменты “БЛИЖАЙШЕГО” КОСМОСА;
18. СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ, или ЗОНА “БЛИЖАЙШЕГО” КОСМОСА.

Таким образом, уровни/ярусы в биологической супрасистеме можно пронумеровать в хронологическом порядке их возникновения в ходе *метаэволюции живого* от 1-го до 18-го (и, в принципе, далее)».

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.** «Применительно к *метаэволюции* удобно ввести понятие *меташага*. Назовем *меташагом* время существования (реализации) сравнительно скоротечного (“революционного”) *процесса возникновения нового (наивысшего) уровня/яруса* в метаэволюционирующей супрасистеме. Таким образом, номер меташага биологической метаэволюции совпадает с введенным в Определении 1 номером возникающего при этом иерархического уровня/яруса».

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3.** «Применительно к *метаэволюции* удобно ввести понятие *метафазы*. Назовем *метафазой* время существования (реализации) сравнительно длительного *процесса развития* метаэволюционирующей супрасистемы – между возникновениями в ней *новых (наивысших) уровней/ярусов*. Полный перечень таких возможных состояний супрасистемы образуется с помощью соответствующих приставок и нумераций: *псевдометафаза, квазиметафаза, эвриметафаза, метафаза-1, метафаза-2, метафаза-3* и т.д., но в конкретных примерах некоторые из них могут и не быть достигнуты. Эти же

приставки/нумерации используются для обозначения супраконтуров в супрасистеме, перманентно усложняющаяся структура которых соответствует указанным метафазам».

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4.** «Применительно к *метаэволюции* удобно ввести понятие *метаэтапа*. Назовем *метаэтапом* (или *триадой*) совокупность трех последовательных во времени метафаз метаэволюции, первая и вторая из которых связаны с формированием промежуточных уровней биологической интеграции некоторого протобиообъекта, а третья – с формированием его основного уровня биологической интеграции, т.е. собственно биообъекта как такового. Будем использовать для указания номера триады последовательно греческие буквы  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\varepsilon/\zeta/\eta/\dots$  (с индексами, отмечающими нужную метафазу данного метаэтапа).

Тогда время существования (реализации) процесса формирования позиций №№ 1÷3 из перечня в Определении 1 удобно назвать  $\alpha$ -*метаэтапом*, или  $\alpha$ -*триадой метафаз* (в составе  $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ - и  $\alpha_3$ -*метафаз*; здесь и далее индекс 1 соответствует псевдометафазе, индекс 2 – квазиметафазе, а индекс 3 – эвриметафазе), позиций №№ 4÷6 –  $\beta$ -*метаэтапом*, или  $\beta$ -*триадой* (в составе  $\beta_1$ -,  $\beta_2$ - и  $\beta_3$ -*метафаз*), позиций №№ 7÷9 –  $\gamma$ -*метаэтапом*, или  $\gamma$ -*триадой* (в составе  $\gamma_1$ -,  $\gamma_2$ - и  $\gamma_3$ -*метафаз*), позиций №№ 10÷12 –  $\delta$ -*метаэтапом*, или  $\delta$ -*триадой* (в составе  $\delta_1$ -,  $\delta_2$ - и  $\delta_3$ -*метафаз*), позиций №№ 13÷15 –  $\varepsilon$ -*метаэтапом*, или  $\varepsilon$ -*триадой* (в составе  $\varepsilon_1$ -,  $\varepsilon_2$ - и  $\varepsilon_3$ -*метафаз*), и т.д. Тем самым определяются и названия  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\varepsilon/\zeta/\eta/\dots$ -*супраконтуров* (структурных воплощений  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\varepsilon/\zeta/\eta/\dots$ -*метаэтапа*) как последовательно возникающих в метаэволюции *триад супраконтуров*  $\alpha_{1,2,3}/\beta_{1,2,3}/\gamma_{1,2,3}/\delta_{1,2,3}/\varepsilon_{1,2,3}/\zeta_{1,2,3}/\eta_{1,2,3}/\dots$  (т.е. конкретных модификаций наивысшего в иерархии  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\varepsilon/\zeta/\eta/\dots$ -*супраконтура*)».

**КОММЕНТАРИЙ К ОПРЕДЕЛЕНИЯМ 2÷4.** Будем использовать применительно к метаэволюции термины *шаг* (*шаги*), *фаза* (*фазы*) и *этап* (*этапы*) в самом общем смысле, указывая тем самым лишь на её *общую тенденцию* к развитию, и безотносительно к специфике её проявления, привязке к конкретным иерархическим уровням/ярусам, её качественным или количественным характеристикам.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ 5.** «Будем называть *системной памятью* объекта некоторого уровня/яруса в иерархии (введенного в Определении 1):

а) его *способность (свойство)* к воспроизведению (учету) прошлого опыта о ходе процесса иерархической оптимизации в супрасистеме, реализуемую с помощью *запоминания, хранения и считывания информации* об усредненных (за период характерного для каждого данного яруса времени) значениях соответствующей (экстремальной, типа равенств, типа неравенств) целевой функции оптимизации его приспособительного поведения, *на протяжении времени, существенно (примерно на порядок) превышающего указанное характерное время*;

б) реализующий её *механизм* введения ограничений на поисковые оптимизационные процессы, происходящие на рассматриваемом и на всех вложенных в него (нижележащих в иерархии) уровнях/ярусах».

Схемы первых 13-ти метафаз биологической метаэволюции приведены на рис. 5 (ниже будет пояснено, почему здесь показаны именно 13, а не 18 метафаз). Перейдем теперь к их более подробному описанию и анализу на этой базе свойств приспособительного поведения последовательно возникающих компонентов биологической супрасистемы.

### 3.2. Метаэволюция живого как этапы последовательного усложнения био-супрасистемы

Прежде всего, необходимо еще раз оговориться, что схему рис. 3 следует рассматривать как *идеальную*, как некоторую *идеальную* цель процесса метаэволюции живого, к которой она перманентно стремится. Но тогда, как следствие, возникают вопросы: Каковы могут быть этапы приближения к данной идеальной цели в ходе метаэволюции? Насколько такие этапы выражены? Могут ли они являться результатом проявления действия некоего

универсального механизма или же таковой феномен в настоящий момент не просматривается? И также ряд других.

Ответы на них могут быть сформулированы, если опереться на гипотетический процесс «сжатия» количества уровней/ярусов/слоев в схеме «универсального» супраконтур (рис. 2) от четырех до трех («слабого сжатия») и даже двух («сильного сжатия») – см. рис. 5.1-5.13. При этом возникает возможность использования универсальных закономерностей поведения контура иерархической поисковой оптимизации *как кибернетического объекта* (в том числе количественных) для содержательных выводов об особенностях возникновения и поведения тех или иных объектов *биологических*.

Итак, чем же объясняется необходимость введения таких терминов, как «псевдосупраконтур», «квазисупраконтур» и «эврисупраконтур» (а также «супраконтур-1», «супраконтур-2» и т.д.)? С одной стороны, наблюдаемыми фактами вполне успешного *существования* в природе столь различных биообъектов, от вирусов и одноклеточных до человека и биогеоценозов (т.е. относящихся к различным ярусам иерархии живого, возникшим в разное историческое время). Более того, иногда говорят даже о «стремлении к обществу себе подобных как общей черты всех обитателей нашей планеты – от микроорганизмов до Человека Разумного» [15]. Естественно, эти факты необходимо отразить в предлагаемой схеме биометаэволюции, а, например, одноклеточные на первый взгляд выпадают из «универсальной» схемы супрасистемы (рис. 3).

Но, с другой стороны – это определяется очевидной повторяемостью подобных модельных представлений при формировании самих этих ярусов иерархии последовательно «снизу вверх». Подобные оптимизационные свойства (отличающиеся только пространственно-временными масштабами и биологическими носителями соответствующих кибернетических процессов) проявляют не только супраконтур, образующие *идеальную* супрасистему, но и соответствующие «сжатые» (сильно или слабо) супраконтур, возникшие в процессе биометаэволюции от органических молекул и до Биогеофер и далее.

Рассмотрим теперь, как выглядят оптимизационные процессы для псевдо- («сильно сжатого»), квази- («слабо сжатого») и эври- («несжатого») супраконтуров.

Для схемы рис. 5.1, 5.4, 5.7, 5.10 и 5.13 (вырожденного, или *псевдо-варианта* супраконтур) значительное несоответствие характерных времен изменения переменных, связанных с инерционностями их преобразований, определяет крайне низкую эффективность такого *псевдооптимизационного* процесса, и, тем самым, огромную длительность описываемой им каждой *псевдо-метафазы* в истории Земли (расчет дает оценочную величину около 944 млн. лет).

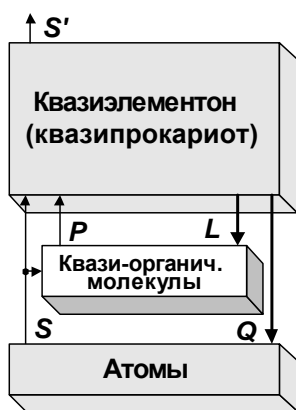
Для схемы рис. 5.2, 5.5, 5.8 и 5.11 (промежуточного, или *квази-варианта* супраконтур) все еще большое несоответствие характерных времен изменения переменных определяет недостаточную эффективность такого *квазиоптимизационного* процесса, и, тем самым, значительную длительность описываемой им каждой *квази-метафазы* в истории Земли (расчет дает оценочную величину около 62 млн. лет).

Что касается схемы рис. 5.3, 5.6, 5.9 и 5.12 (и рис. 2), то в ней характерные времена изменения переменных согласованы наилучшим образом, что определяет максимальную эффективность такого *эвриоптимизационного* процесса, и, тем самым, минимальную длительность описываемой им каждой *эври-метафазы* в истории Земли (расчет дает оценочную величину около 4 млн. лет).

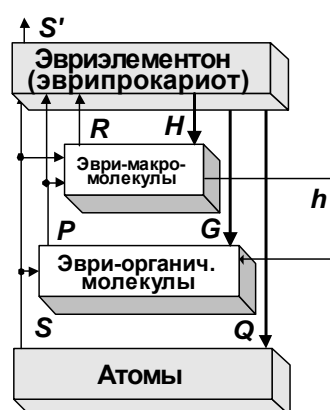
Таким образом, метаэволюция *живого* связывается с модификацией схемы соответствующего супраконтур. Причем модификация состоит, помимо прочего, в *редуцировании* числа уровней/ярусов в иерархии, составляющих супраконтур (от 4-х до 3-х и даже 2-х).



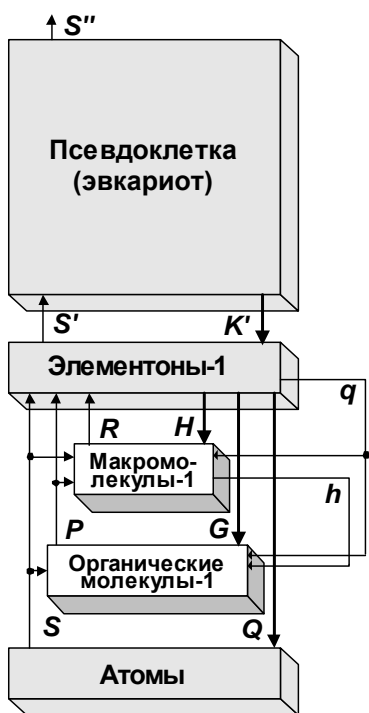
1) метафаза-1 ( $\alpha_1$ , псевдо-супраконтур)



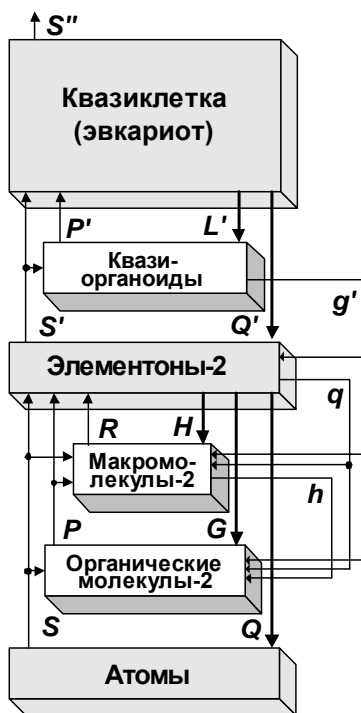
2) метафаза-2 ( $\alpha_2$ , квази-супраконтур)



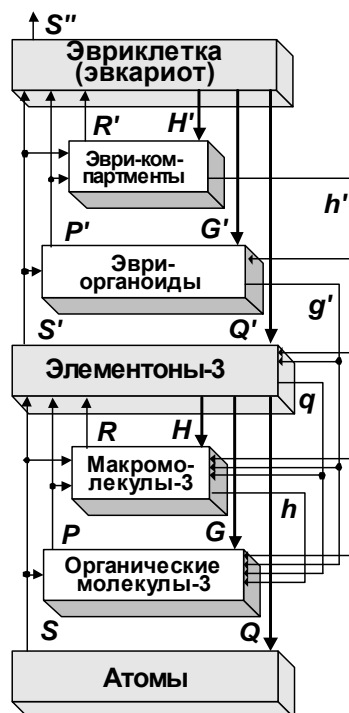
3) метафаза-3 ( $\alpha_3$ , эври-супраконтур)



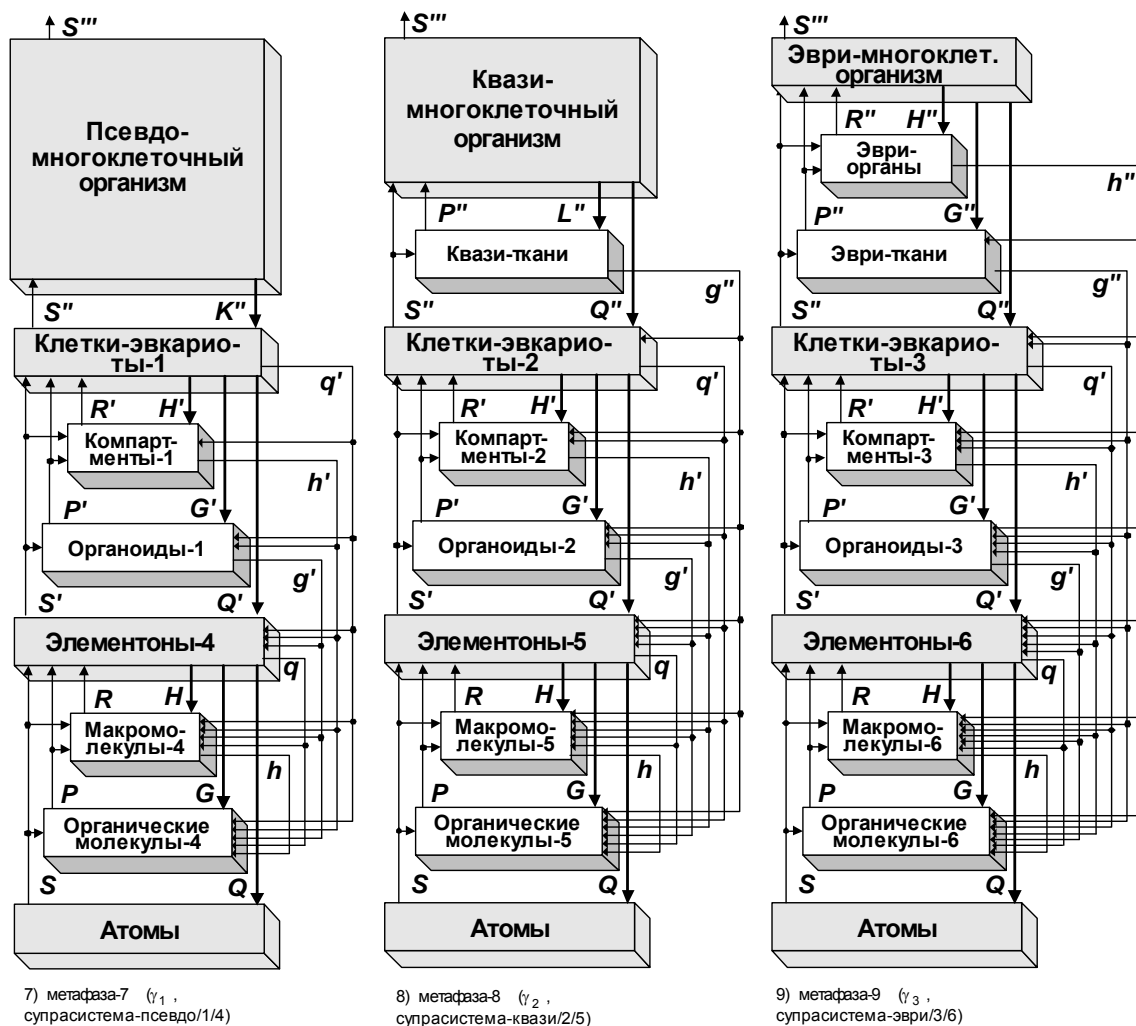
4) метафаза-4 ( $\beta_1$ , супрасистема-псевдо/1)



5) метафаза-5 ( $\beta_2$ , супрасистема-квази/2)



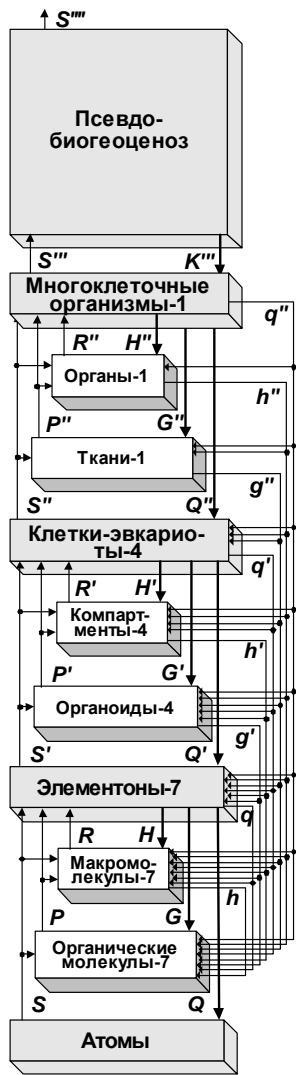
6) метафаза-6 ( $\beta_3$ , супрасистема-эври/3)



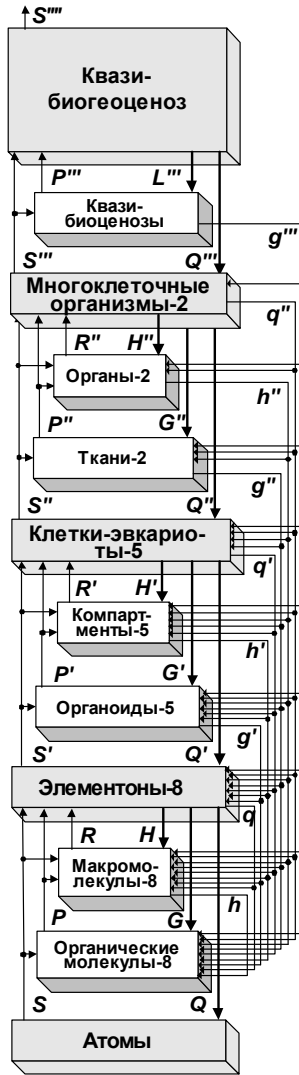
### 3.3. О длительностях метафаз в биологической метаэволюции

При анализе некоторых следствий процессов, рассмотренных в предыдущем пункте, возникает следующий вопрос: когда ряд последовательно усложняющихся супраконтуров-1/2/3/4/... можно было бы остановить и заявить, что вот, наконец, природой создан «идеальный супраконтур»? И правомерен ли такой вопрос вообще? В контексте ответа на этот вопрос не будем забывать, что сам термин «идеальный» применительно к перманентно развивающемуся – эволюционирующему – объекту, строго говоря, неприменим. Повидимому, его следует употреблять только в связке с наречием «относительно».

Каков же выход? Единственное реальное методологическое соображение по этому поводу: обратиться к так называемому «внешнему дополнению». В данном случае это эквивалентно учету, с одной стороны, эмпирически наблюдаемого, а с другой – расчетного фактора: ограниченности времени  $\check{T}$  существования наблюдаемой Вселенной. Его принято оценивать (с различных позиций) как  $\check{T} \sim 13,7-14$  млрд. лет. С учетом этого фактора в представленной на рис. 3 иерархии *максимально возможная длительность системной памяти* соответствует ярусу (ОУИ) «СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ» (ее оценка составляет порядка 2,75 млрд. лет). Длительность же системной памяти последующего «высшего» в иерархии яруса (ПУИ) «Сфера больших планет» (с соответствующей оценкой порядка 42 млрд. лет) уже значительно превосходит  $\check{T}$ . Это и позволяет считать *условно идеальной* (на текущий момент времени!) схему супрасистемы, наивысшим ярусом которой является ярус «СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ». В него «вложены» основные уровни/ярусы (ОУИ) «БИОГЕОСФЕРЫ», «БИОГЕОЦЕНОЗЫ», «МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ», «СЛОЖНЫЕ КЛЕТКИ» и «ЭЛЕМЕНТОНЫ».



10) метафаза-10 ( $\delta_1$ ,  
супрасистема-псевдо/1/4/7)



11) метафаза-11 ( $\delta_2$ ,  
супрасистема-квази/2/5/8)



12) метафаза-12 ( $\delta_3$ ,  
супрасистема-эври/3/6/9)



13) метафаза-13 ( $\epsilon_1$ ,  
супрасистема-псевдо/1/4/7/10)

Рис. 5. Упрощенные схемы структур, соответствующих метафазам биологической метазволюции

Другой вопрос: достигла ли жизнь на Земле к настоящему моменту этого, хотя бы и условно идеального, состояния? Отсюда следует актуальность проблемы определения именно той метафазы, на которой мы сейчас находимся. Для этого можно привлечь достаточно эвристические соображения относительно длительностей триад метафаз биометазволюции.

Если проанализировать (это сделано в [6]) литературные данные, отражающие оценки начальных моментов нескольких основных исторических периодов в развитии Земли, которые называют зонами (иногда – эрами) и выделяют именно по признаку «существенности» эволюционных изменений живых объектов на Земле, то можно получить результаты, сведенные в таблицу 1.

**Таблица 1. Оценки начальных моментов времени возникновения эонов/эр (млрд. лет назад, НВ – настоящее время), и начал соответствующих  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\epsilon$ -триад метафаз**

Катархей (Азой)	Архей (Археозой)	Нижний/ранний протерозой (Карелий)	Верхний/ поздний протерозой (Рифей), включая Венд	Фанерозой	«Неозой» (?)	
4,6	3,6	2,55	1,65	0,57 – до НВ	-	Усредненные оценки
1	1,05	0,9	1,08	$\sim 1,01 \pm 0,16$ (?)	(???)	Длительность
4,61	3,60	2,59	1,58	0,57	Через 0,44 млрд. лет	Расчетное начало периода (млрд. лет назад)
Атомы	$\alpha$ (Элементы)	$\beta$ (Сложные клетки)	$\gamma$ (Многочлеточные организмы)	$\delta$ (Биогеоценозы)	$\epsilon$ (Биогеосфера)	Метаэтапы (триады метафаз метаэволюции)

Приближенная оценка продолжительности метаэтапа метаэволюции живого, или «триады» её метафаз, полученная как среднее арифметическое четырех закончившихся эонов в эволюции живого на Земле, составляет 1,01 млрд. лет при среднеквадратическом отклонении  $\pm 0,16$  млрд. лет. Столь высокая близость этой оценки к «круглой» десятичной цифре в 1 млрд. лет – это, конечно, чистая случайность, более важна её достаточно малая вариабельность. Кроме того, точность этой оценки в действительности определяется отнюдь не десятками миллионов лет, как это обычно принято считать, опираясь на отсутствие в её записи тысячных долей миллиарда. Главным образом она зависит от точности *содержательных оценок* границ между зонами, естественно, тем меньшей, чем далее вглубь по шкале времени они располагаются. То есть по мере развития соответствующих экспериментальных наук возможно выявление тех или иных отклонений от этой цифры. Тем не менее, представляется, что такую оценку в  $1,01 \pm 0,16$  млрд. лет сегодня вполне можно принять в качестве нулевого приближения продолжительности метаэтапа («триады» метафаз). Ещё раз подчеркну при этом, что данная оценка базируется на *эмпирическом обобщении* соответствующих геологических и палеонтологических данных.

И тогда справедлива следующая гипотеза и ее следствие: **«Гипотеза о соответствии схемы метаэволюции живого эмпирическим данным.** Метаэтаги *кардинального* увеличения возможностей *системной памяти живого* (связанные с возникновением в иерархии живого *основных* уровней биологической интеграции – ЭЛЕМЕНТОНОВ, СЛОЖНЫХ КЛЕТОК, МНОГОКЛЕТОЧНЫХ ОРГАНИЗМОВ, БИОГЕОЦЕНОЗОВ, БИОГЕОСФЕРЫ и т.д.) соответствуют зафиксированным геологической и биологической науками *моментам смен* эонов (в геохронологии), т.е. промежутков времени геологической истории Земли и её органического мира, в течение которого формируются зонотемы (в стратиграфии): катархея (азоя), архея (археозоя), нижнего/раннего протерозоя (карелия), верхнего/позднего протерозоя (рифей), включая венд, и фанерозоя».

**«Следствие о темпе метаэволюции живого.** На основе эмпирических данных о длительностях завершившихся к настоящему времени эонов в истории Земли (катархея, архея, нижнего и верхнего протерозоев) ранее сделан вывод, что с высокой вероятностью указанные длительности приблизительно совпадают между собой и примерно равны  $1,01 \pm 0,16$  млрд. лет. Следовательно, и длительности метаэтапов метаэволюции живого следует полагать равными  $1,01 \pm 0,16$  млрд. лет».

Но тогда следует поставить перед собой следующий вопрос: каким образом вписывается в этот отрезок времени каждая из метафаз триады?

Ответ на него был ранее получен в рамках рассмотрения метаэволюции несколько иной супрасистемы: *социально-технологической метаэволюции Человечества* [16]. Он состоит в том, что каждая последующая метафаза в триаде *такой* метаэволюции продолжается в  $e^e = 15,15426...$  раз меньше, чем предыдущая (в процентах от общей длительности это составляет

примерно 93,43% : 6,16% : 0,41%). Объясняется это тем, что качество и эффективность оптимизационного механизма «деформируемого» супраконтур весьма сильно зависят именно от степени его «деформации» и максимальны для его «недеформируемого» состояния. Таким образом, и этот *расчетный* результат (93,43% : 6,16% : 0,41%) базируется на соответствующем эмпирическом обобщении *исторических* данных.

Отсюда можно по аналогии высказать предположение, что и для *биометаэволюции* начальная «псевдо»-фаза в каждой триаде, для которой характерно практически полное вырождение оптимизационного механизма, – и именно в силу этого, – продолжается львиную долю (свыше 93%) от полной продолжительности триады. Затем около 6 % этого периода длится вторая «квази»-фаза биометаэволюции, для которой уже характерен заметный (хотя и не вполне эффективный) вклад оптимизационного механизма в организацию приспособительного поведения КВАЗИГЕГЕМОНА. И, наконец, менее половины процента от полной продолжительности триады длится завершающая «эври»-фаза биометаэволюции, с момента начала которой оптимизационный механизм полностью сформировался (что и определяет сам этот момент!) и максимально эффективен.

Именно его деятельность позволяет живому за период примерно в 4 миллиона лет (0,4% от 1 млрд.) совершать бурный скачок в своем развитии. В частности, именно такими цифрами определяют продолжительность так называемого «кембрийского взрыва» в развитии живого на Земле, т.е. последний из подобных скачков, который совершился около 570 млн. лет назад: 5-10 млн. лет [17], 3-5 млн. лет [18]. Палеонтологические остатки более ранних таких скачков (хотя бы предпоследнего, происшедшего около 1,6 млрд. лет назад), насколько известно, на сегодняшний день не найдены.

Если вышеприведенная гипотеза верна, то из нее также следует, что возникает возможность существенно сузить весьма широкие спектры эмпирических оценок столь важных моментов в ходе метаэволюции живого на Земле, как возникновение эукариотической клетки, многоклеточности и др. Расчетные оценки иногда довольно сильно противоречат «общепринятым», но демонстрируют хорошее совпадение с некоторыми, пусть пока и дискуссионными (см., например, оценки момента возникновения многоклеточности, приведённые в [19]).

Таким образом, использование предлагаемой концепции намечает перспективы решения еще одной задачи: восполнения кибернетическими соображениями тех крайне скудных экспериментально добываемых сведений, которые находятся в распоряжении «докембрийской» (и тем более «довендской») палеонтологии. Ведь чем дальше вглубь миллиардолетий, тем меньше надежд найти окаменелости, слепки или иные следы «той» жизни.

Отмечу, что исторически сложилась традиция, в рамках которой различные крупномасштабные и относительно кратковременные изменения, вдруг нарушающие сравнительно медленный ход биологической эволюции, а) называют революционными и б) считают *начальными* в последующем периоде относительно менее масштабных изменений. Исходя из предлагаемой схемы биометаэволюции, эти относительно краткие периоды следует рассматривать не как начальные, а как *завершающие* в триаде (краткие на фоне ее предыдущих двух относительно длительных периодов). В частности, «кембрийский взрыв» является завершающим этапом «докембрия», а остальной кембрий за его минусом – начальным этапом собственно фанерозоя.

#### **3.4. О связи пространственных биообразований с метафазами их возникновения**

Введенное выше понятие  $\alpha_1$ -ЭЛЕМЕНТОН – вырожденную реализацию ЭЛЕМЕНТОНА – лишь с большой натяжкой можно определить как форму преджизни, пусть и примитивнейшую. Тем не менее, уже для этого термина возникает вопрос: если подобные структуры начали возникать в той или иной части Вселенной (для большей конкретности ограничимся рассмотрением планеты Земля), то как следует называть их *пассивные*

совокупности, последовательно заполняющие соответствующие территории Земли: сферы клеток (пока еще не возникших), сферы многоклеточных организмов (также пока не возникших), сферы биогеоценозов (та же картина), и, наконец, Биогеосферу (получается, что и ее пока еще нет)? Этот же вопрос будет относиться и к пассивным совокупностям  $\alpha_2/\alpha_3$ -ЭЛЕМЕНТОНОВ,  $\beta_1/\beta_2/\beta_3$ -КЛЕТОК,  $\gamma_1/\gamma_2/\gamma_3$ -ОРГАНИЗМОВ,  $\delta_1/\delta_2/\delta_3$ -БИОГЕОЦЕНОЗОВ, а также к  $\varepsilon_1$ -БИОГЕОСФЕРЕ.

Еще раз поясню: речь идет о названии таких совокупностей указанных объектов, которые *не образуют системы*, не образуют никакого *механизма*, регуляторного или оптимизационного: это просто пассивные «кучи» тех или иных объектов, которые совершенно автономны и практически не взаимодействуют между собой (а если уж провзаимодействовали, то это взаимодействие носит неспецифический характер), но *территориально* располагаются «достаточно близко» (т.е. «на территории» того или иного виртуального ПСЕВДОГЕГЕМОНА, который пока не начал формироваться). При этом наиболее актуально определиться с весьма часто используемым в литературе в данном контексте термином «Биосфера» (обычно говорят о «первичной Биосфере Земли» и т.п.) – или, как иногда говорят, «Биогеосфера», – а также с терминами «биогеоценоз» и «биоценоз». Например, по мнению В.И.Вернадского: «первое появление жизни при создании биосферы должно было произойти не в виде появления одного какого-нибудь вида, а в виде их совокупности, отвечающей геохимическим функциям жизни. Должны были сразу появиться биоценозы» [20]. И, наконец, – с терминами «организм» (многоклеточный) и «клетка» (сложная, т.е. эвкариотическая).

Итак, какое наполнение можно дать перечисленным терминам с позиций предлагаемой концепции? Как представляется, целесообразно для каждого из них отметить те особенности, которые сразу соотносили бы его с текущей метафазой биометаэволюции. То есть использовать введенную выше приставку к наименованию типа супраконтур в виде греческих букв  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\varepsilon/\zeta$  и т.д., указывающую на номер метаэтапа. При этом первая часть такого термина будет (с помощью буквы) указывать на конкретную триаду (метаэтап) метаэволюции, а с помощью индекса при букве – на форму метафазы (1 = псевдо-, 2 = квази-, 3 = эври-), в которой находится супраконтур, «наивысший» в супрасистеме.

Таким образом, в развитие (конкретизацию) представления об  $\alpha/\beta/\gamma/\delta/\varepsilon/\zeta$ ...-супраконтуре, целесообразно ввести следующие термины (обозначаемые ими системы – все виртуальны!):

- для  $\alpha$ -этапа биометаэволюции (трех последовательных метафаз модификации  $\alpha$ -супраконтур ЭЛЕМЕНТОН-АТОМЫ) –  $\alpha$ -КЛЕТКА,  $\alpha$ -ОРГАНИЗМ,  $\alpha$ -БИОГЕОЦЕНОЗ,  $\alpha$ -БИОГЕОСФЕРА и т.д.;
- для  $\beta$ -этапа биометаэволюции (трех последовательных метафаз модификации  $\beta$ -супраконтур КЛЕТКА-ЭЛЕМЕНТОНЫ) –  $\beta$ -ОРГАНИЗМ,  $\beta$ -БИОГЕОЦЕНОЗ,  $\beta$ -БИОГЕОСФЕРА и т.д.;
- для  $\gamma$ -этапа биометаэволюции (трех последовательных метафаз модификации  $\gamma$ -супраконтур ОРГАНИЗМ-КЛЕТКИ) –  $\gamma$ -БИОГЕОЦЕНОЗ,  $\gamma$ -БИОГЕОСФЕРА и т.д.;
- для  $\delta$ -этапа биометаэволюции (трех последовательных метафаз модификации  $\delta$ -супраконтур БИОГЕОЦЕНОЗ-ОРГАНИЗМЫ) –  $\delta$ -БИОГЕОСФЕРА и т.д.;
- для  $\varepsilon$ -этапа биометаэволюции (трех последовательных метафаз модификации  $\varepsilon$ -супраконтур БИОГЕОСФЕРА-БИОГЕОЦЕНОЗЫ –  $\varepsilon$ -СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ и т.д.

Здесь следует еще раз отметить, что  $\varepsilon$ -БИОГЕОСФЕРА – понятие, которое может реализоваться *в целом* лишь в далеком будущем, причем при условии кардинального уменьшения антропогенных влияний на нее. Это же относится и к составляющим ее метафазам метаэволюции  $\varepsilon_2$ -БИОГЕОСФЕРЫ и  $\varepsilon_3$ -БИОГЕОСФЕРЫ, в отличие от конкретной существующей вокруг нас  $\varepsilon_1$ -БИОГЕОСФЕРЫ.

Тем самым настоящая концепция актуализирует проблему уточнения соотношения понятий «жизнь» и «Биосфера». Как представляется, при анализе этого соотношения целесообразно оперировать все же с более точными и более конкретными понятиями, отражающими не только пространственные характеристики живых систем, но и момент (метаэтап) времени, применительно к которому происходит указанное рассмотрение, иерархические уровни интеграции соответствующих биообъектов и т.п.

В частности, проблема *биогенеза*, или возникновения жизни, становится более ясной. От момента начала этого процесса применительно к земной жизни (совпадающего или чуть запаздывающего по отношению к моменту возникновения Земли около 4,6 млрд. лет назад) и до настоящего времени выделены 13 этапов метаэволюции живого (последний продолжается в наше время). Исходя из предлагаемой концепции понятно, почему невозможно указать именно *момент* (не период!) возникновения жизни на Земле. Ибо можно ли так назвать какой-либо момент *1-й метафазы* метаэволюции, в процессе которой поисковый процесс в иерархическом контуре оптимизации крайне малоэффективен в силу его огромной инерционности (фактически, вырожден), и характерной чертой которой является абиогенный синтез аденозинфосфатов АТФ-ADP-AMP (трансформаторов и передатчиков энергии в живой природе), при том, что молекулу АТФ (аденозинтрифосфат АТФ) и рассматривают как молекулу № 1 на пути биогенеза [21]? Явно пока нет. А можно ли так назвать какой-либо момент *2-й метафазы* метаэволюции, в процессе которой поисковый процесс в иерархическом контуре оптимизации недостаточно эффективен в силу его значительной инерционности, и характерными чертами которой является абиогенный синтез:

1. t-РНК-подобных молекул, реализующих функции соответствия между типом аминокислоты и кодирующего его триплета нуклеотидов, которые по своему значению и месту в биологической эволюции рассматривают как молекулу № 2 [там же];
2. липидов, обладающих естественной способностью образовывать капли, пузырьки, мицеллы, биполярные образования в водной среде?

Тоже вроде бы рано, это пока еще органическая химия, хотя уже ближе к представлению о жизни. Наконец, можно ли так назвать какой-либо момент *3-й метафазы* метаэволюции, характерной чертой которой является возникновение простейших прокариотических клеток, обладающих достаточной сложной внутренней структурой, механизмом реализации своего адаптивного (оптимизационного) поведения, эффективной поверхностной оболочкой и т.п. (не говоря уже о способности самопроизвольно размножаться) свойствами? Их совокупность и степень проявления каждого такого свойства позволяет утверждать, что искомый момент уже пройден системой. Но когда именно это произошло? Подобная ситуация отражена в бессмертном афоризме Козьмы Пруткина: «Где начало того конца, которым оканчивается начало?». Таким образом, сама постановка вопроса о «моментах» возникновения жизни представляется как противоречащая системному подходу к этому явлению, и должна быть пересмотрена.

Помимо прочего, настоящая концепция является аргументом в пользу “допущения заурядности (assumptions of mediocrity [22])” – идеи, что мы не одиноки во Вселенной, поскольку, с учетом громадности ее протяженности и значительной длительности ее существования, жизнь не может не возникать во многих местах Космоса. С другой стороны, исходя из чисто количественных характеристик (характерных времен процессов в иерархическом контуре оптимизации), можно утверждать, что земная жизнь (как и, по-видимому, любая иная, возникшая в какой-либо другой зоне Космоса и наверняка отличающаяся от нашей – как минимум, конкретным генетическим кодом) может развиваться и развивается как *целостное* явление лишь в сравнительно ограниченной зоне пространства, не выходящей за рамки размеров, характерных для сферы планет земной группы Солнечной системы.

## Заключение

Итак, изложенные выше факты свидетельствуют в пользу утверждения, что схема *иерархического механизма адаптивной поисковой оптимизации* как кибернетическая система обладает своим собственным набором характеристик (отражающих особенности его структуры и поведения безотносительно к субстрату его материальной реализации), и этот факт является мощным источником сведений для структуризации соответствующих систем «достаточно высокой сложности» (не только биологических, но и социально-технологических, экономических и т.п.), выявлению в них иерархий пространственных, временных и количественных, единой трактовке в кибернетических терминах места и роли переменных, зачастую представляющихся весьма и весьма различными (опять-таки из-за несовпадения субстрата и пространственно-временных характеристик) и других аналогий.

Кратко подытожу некоторые следствия предлагаемой концепции *естественнонаучного характера*:

1. Следует модифицировать существующие представления об иерархии живого – приведенные, например, в статье «Кибернетика биологическая» БЭС, согласно которой «со структурно-функциональной и информационной точки зрения все многообразие живого может быть подразделено на 4 главных уровня: молекулярно-генетический (клеточный), онтогенетический (организменный), популяционно-видовой и биогеоценотический, или биосферный» [23]; подобная трактовка ни в количественном, ни в качественном плане не может быть признана адекватной. В частности, следуя предложенной терминологии, будет неверным продолжать называть прокариоты – клетками, ведь они относятся к совершенно иному ярусу в иерархии живого («элементон», или прокариотических *ячеек*).
2. Следует признать, что *зоны и метаэтапы* метаэволюции живого (т.е. периоды формирования троек ярусов в его иерархии) описывают в определенном смысле повторяющиеся исторические периоды в развитии Земли. То есть каждый из эонов представляет собой период возникновения в ходе метаэволюции трех новых верхних уровней интеграции в иерархии живого: в ходе катархея впервые формируются простейшие прокариотические ячейки со своими внутренними структурными ярусами, которые и возникают к его концу, в ходе архея формируются простейшие эвкариотические автономные клетки, в ходе нижнего протерозоя – простейшие многоклеточные организмы, в ходе верхнего протерозоя – простейшие биогеоценозы, и, наконец, в ходе текущего фанерозоя формируется простейшая Биогeosфера, которая на сегодня достигла лишь состояния Протобиогеосферы.

Последнее означает, что механизм саморегуляции (оптимизационного приспособительного поведения) *современной* нам Биогeosферы как *целого* характеризуется крайне низкой эффективностью. Именно это в значительной степени определяет слабую степень парирования ею кризисных явлений, возникающих как результат наблюдающейся интенсификации антропогенных воздействий.

Важно отметить, что возникновение новых «высших» ярусов в иерархии живого не отменяет существования ранее возникших «низших» (не элиминирует их). В частности, в наши дни живое в *каждой конкретной зоне доступного для жизни пространства на Земле* представляет собой совокупность существующих одновременно (симбиотически *взаимодействуя* на уровнях своих соответствующих элементов, причем с различной интенсивностью вплоть до полной *автономности*) пяти иерархических систем: прокариот, одноклеточных эвкариот, многоклеточных эвкариот, биогеоценозов и Биогeosферы. Соответственно в верхнем протерозое живое представляло собой совокупность лишь четырех таких систем (до уровня формирующихся в тот период биогеоценозов), в нижнем протерозое – трех (до уровня многоклеточных организмов), в архее – двух таких систем (до

уровня одноклеточных эвкариот), а в катархее – только одну систему (уровня формирующихся в тот период прокариот).

3. На основе указанной общности понятий «эон» и «метаэтап» введено понятие **горизонт метаэволюции живого** – пространственная характеристика, определяющая для любого момента времени метаэволюции верхнюю оценку размера оптимизационного механизма живого, могущего сформироваться к этому моменту. Это позволило выдвинуть гипотезу *экспоненциального роста горизонта метаэволюции живого со временем*, т.е. выражение величины горизонта метаэволюции  $l$  как показательной функции времени  $T$  существования жизни на Земле ( $\rho_0$  и  $\rho_1$  – коэффициенты):  $\ln(l) = \rho_0 + \rho_1 T$  или  $l = e^{(\rho_0 + \rho_1 T)}$ .

Параметризация этой формулы была проведена с помощью эмпирических данных о моментах смен эонов (при этом метаэволюционно краткий период «кембрийского взрыва» рассматривался как завершающий в венде, т.е. в верхнем протерозое, а не как начальный в кембрии, т.е. в фанерозое). Но на её основе появилась возможность ранжировать и некоторые иные выделенные моменты метаэволюции живого на Земле. В частности, переход от палеозоя к мезозою действительно можно назвать революционным (т.е. сменой эр). Обоснование этого: именно в этот момент (расчетное значение которого – 233 млн. лет назад – с весьма высокой точностью совпадает с эмпирическими оценками) перманентно возрастающая величина *горизонта метаэволюции живого* достигает значения расчетной величины Субкомпартамента Биосферы, или биома (первого промежуточного уровня в контуре иерархической оптимизации БИОГЕОСФЕРА–БИОГЕОЦЕНОЗЫ). Переход же от мезозоя к кайнозою не сопровождается подобным его совпадением с расчетной величиной следующего, второго промежуточного уровня в этом иерархическом контуре (Компартамента Биосферы, или Природной зоны), которое теоретически может настать лишь примерно через 103 млн. лет в будущем. То есть его следует трактовать как смену периодов низшего ранга.

4. Необходимо четко разделять понятия *метаэволюции* и *эволюции*. Первое понятие отражает исключительно процесс формирования в некотором биообъекте новых иерархических уровней (при усложнении существующих). Второе же – процессы поисковой оптимизации приспособительного поведения биообъектов в уже метаэволюционно сформировавшихся иерархических контурах БИОГЕОЦЕНОЗ–МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ и БИОГЕОСФЕРА–БИОГЕОЦЕНОЗЫ. Они относительно более медленны по сравнению с аналогичными процессами поисковой оптимизации приспособительного поведения биообъектов в иерархических контурах МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ–СЛОЖНЫЕ КЛЕТКИ и СЛОЖНЫЕ КЛЕТКИ–ЭЛЕМЕНТОНЫ, которые обычно называют *адаптацией*, но следовало бы называть *обобщенной адаптацией*.
5. Возникает новый синтез представлений о биологической эволюции, отражающих не только её особенности в «современный» нам эон фанерозоя, но и в предыдущие 4,6 млрд. лет развития жизни на Земле (и, по-видимому, в иных частях Космоса). То есть о биологической эволюции, специфической для каждого из 5-ти метаэтапов метаэволюции живого и оставившей свои следы в виде как ископаемых останков, так и существ, успешно процветающих доныне. Как один из результатов подобного подхода, следует пересмотреть принцип *актуализма*, сформулировав его (в общесистемном варианте) примерно в следующих выражениях: «*в процессе исторического исследования мы должны исходить из того, что метаэволюционирующая система живого, интерпретируемая как иерархическая оптимизационная система, в прошлом представляла собой упрощенные вплоть до вырожденности варианты её современного аналога, и её функционирование было в той же степени упрощенным, до тех пор, пока не доказано обратное*».

И ряд других.

В заключение хотелось бы выразить надежду, что все изложенное выше (а также, более подробно, в моей монографии [6]), окажется читателю полезным как в его научной деятельности, так и, возможно, в восприятии им окружающей нас живой природы.

### Литература

1. *Турчин В.Ф.* Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. М.: ЭТС, 2000. 368 с.
2. *Седов А.Е.* Метафоры в генетике // Вестник Российской Академии наук, 2000, том 70, № 6, С. 526-534. – см. также <http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/VRAN/METAGENE.HTM>
3. *Мусеев Н.Н.* Быть или не быть... Человечеству? М.: 1999. 289 с.
4. *Heylighen F., Joslyn C.* Cybernetics and Second-Order Cybernetics // in: R.A. Meyers (ed.), Encyclopedia of Physical Science & Technology, Vol. 4 (3rd ed.), Academic Press, New York, 2001. pp. 155-170. – <http://pespmc1.vub.ac.be/Papers/Cybernetics-EPST.pdf>
5. *Растрюгин Л.А.* Системы экстремального управления. М.: Наука, 1974. 632 с.
6. *Гринченко С.Н.* Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры). М.: ИПИРАН, Мир, 2004, 512 с. – см. также <http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/>
7. *Разумовский О.С.* Концепция оптимологии. Новосибирск: ЦСА, 1998. 64 с. – см. также <http://www.philosophy.nsc.ru/PUBLICATION/RAZUMOVSKY/OPTIMOLOGY/optimology.htm>
8. *Растрюгин Л.А.* Адаптация сложных систем. Методы и приложения. Рига: Зинатне, 1981. 375 с. – см. также <http://dssg.cs.rtu.lv/ru/index.html>
9. *Чайковский Ю.В.* Эволюция. Часть 7. Загадка начала жизни. ("Биология" - комплект изданий "Первое сентября". 1999, no 11.) – <http://evolution.atheism.ru/library/beginninglife.html>
10. *Гринченко С.Н., Загускин С.Л.* Механизмы живой клетки: алгоритмическая модель. М.: Наука, 1989. 232 с.
11. *Жирмунский А.В., Кузьмин В.И.* Критические уровни в процессах развития биологических систем. М.: Наука, 1982. 179 с.
12. *Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С.* Экология в цитатах и афоризмах. Тольятти: 2001 – <http://www.tolcom.ru/kiril/Rozenberg/Ea1.htm>
13. *Переслегин С.* Того, что достаточно для Геродота, мало для Герострата // Послесловие редактора к изданию: Лем С. Сумма технологии. М.: Изд-во АСТ, СПб: Terra Fantastica, 2002, 670 с.; С.643-668.
14. *Дарвин Ч.* Происхождение видов путем естественного отбора. М.: Тайдекс Ко, 2003, 496 с. – см. также <http://charles-darwin.narod.ru/origin-content.html>
15. *Панов Е.Н.* Бегство от одиночества. Индивидуальное и коллективное в природе и в человеческом обществе. М.: Лазурь, 2001, 640 с.
16. *Гринченко С.Н.* Социальная метаэволюция Человечества как последовательность шагов формирования механизмов его системной памяти // Электронный журнал «Исследовано в России», 145, стр. 1652-1681, 2001, <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/145.pdf>
17. *Пашутин С.Б.* Феномены биологической эволюции // Опубликовано на сайте Русского переплета в научно-популярном журнале Урания 08.04.2002 г. – <http://www.pereplet.ru/pops/text/pashutin08apr02.htm/>
18. *Нудельман Р.* Кембрийский парадокс // Знание-Сила, 1998, № 8-9 – <http://vivovoco.nns.ru/VV/PAPERS/NATURE/KEMBR.HTM>
19. *Федонкин М.А.* Холодная заря животной жизни // Природа, 2000, № 9 – см. также <http://www.paleo.ru/paleonet/library.html?show=3>

20. *Вернадский В.И.* Биохимические очерки (1922-1932,1940), 1965.
21. *Галимов Э.М.* Феномен жизни: между равновесием и устойчивостью. Происхождение и принципы эволюции. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 254 с.
22. *Chaisson Eric J.* Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Harvard Univ. Press, Cambridge, London, 2001. 280 pp. –  
[http://www.tufts.edu/as/wright\\_center/eric/ce\\_cover\\_front.html](http://www.tufts.edu/as/wright_center/eric/ce_cover_front.html)
23. *Биология.* Большой энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. 864 с.