

3

Теории биологической эволюции и кибернетика: новый синтез

С. Н. Гринченко

Введение

Насколько известно, до сих пор теории биологической эволюции создавались исключительно путем обобщения тех или иных экспериментальных данных. И этот путь настолько естественен, что вопрос о возможных альтернативах ему практически не ставится. Но это не значит, что таких путей вообще нет. К подобным альтернативным подходам можно отнести *информатико-кибернетическую концепцию* (Гринченко 2004; 2007), в рамках которой живая природа рассматривается как иерархическая система управления (точнее, *самоуправления*), представители уровней/ярусов которой перманентно реализуют процесс своего приспособления к изменениям как внешней, так и внутренней среды. Осуществляется это по алгоритмам адаптивной *поисковой оптимизации* (оптимизация – это **процесс** движения к цели, в отличие от оптимальности – **состояния** достигнутой цели). Интерпретируя некоторые процессы в такой системе как эволюционные, можно существенно модифицировать традиционные теории биологической эволюции.

1. Идея управления в живой природе и теории биологической эволюции

По мнению А. А. Ляпунова, высказанному в 1962 г., «управление можно объявить характеристическим свойством жизни в широком смысле» (1980: 208). Еще в 1958 г. И. И. Шмальгаузен опубликовал в «Зоологическом журнале» статью «Регулирующие механизмы эволюции», в которой представил регулирующий механизм эволюции популяции в виде кибернетического цикла (см. Рис. 1) и отметил, что сама эволюция оказывается автоматически регулируемым процессом прогрессивной адаптации, а «этот кибернетический цикл является лишь перефразировкой дарвиновского понимания эволюции» (Шмальгаузен 1968: 177).

Эволюция 3 (2010) 81–102

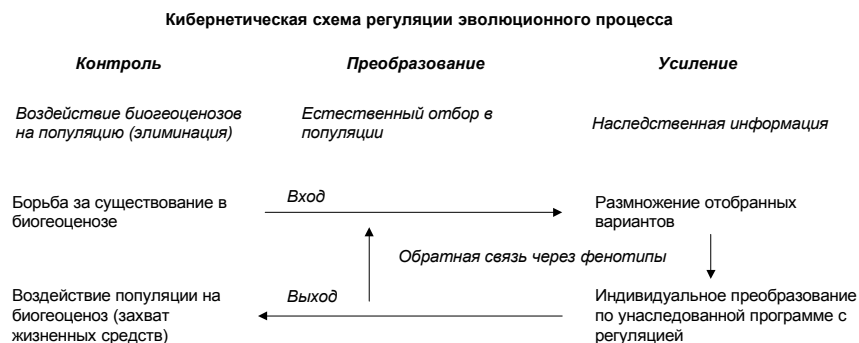


Рис. 1. Эволюция как авторегуляторный процесс (Шмальгаузен 1968: 177), в редакции (Северцов 2005: 16)

М. А. Шишкин указывает, что модель эпигенетического (системного) подхода, лежащего в основе эпигенетической теории эволюции, «согласуется с тем, что реально известно о механизмах управления дифференциальной активностью генов» (Шишкин 2006: 182). Но подобных мнений все же мало, и это свидетельствует о том, что идея управления в живой природе пока не стала определяющей при синтезе современных представлений о биологической эволюции. Среди возможных причин этого не последнюю роль играет неопределенность используемой терминологии.

В свое время Ч. Дарвин назвал *естественным отбором*, «сохранение благоприятных индивидуальных различий и изменений и уничтожение вредных» (Darwin 1859: 89; Дарвин 2003: 89). Сегодня термин «естественный отбор» воспринимается большинством (включающим не только последователей дарвинизма, или *селектогенеза*, но и его противников) как первичное понятие дарвинизма, не требующее пояснений. Но некоторые ученые в своей критике селектогенеза призывают вообще отказаться от использования понятия «отбор». Так, А. Лима-де-Фариа утверждает, что «если мы серьезно стремимся понять механизм эволюции, слово “отбор” должно быть исключено из биологического словаря... Отбор должен быть изгнан из биологии по двум причинам: 1) отбор – это система выбора, а не материальный компонент живого организма или часть материи; 2) это абстрактная концепция, отвлекающая от чисто физико-химического анализа взаимодействий между организмами» (Lima-de-Faria 1988: 9–10; Лима-де-Фариа 1991: 9–10). Ю. В. Чайковский приходит к выводу, что «естественного отбора как фактора эволюции (как следствия избирательной смертности и избирательной размножаемости) в природе вообще не обнаружено» (Чайковский 2006: 628).

Как представляется, именно в подобных трактовках понятий «селекция» и «естественный отбор» и заложена причина большинства претензий

к селектогенезу (неодарвинизму), которые выдвигают сторонники теорий направленности эволюции (Л. С. Берг [1922], А. А. Любищев [1982], Ю. В. Чайковский [2006], В. И. Назаров [2007] и др.). Предлагаемый ниже пересмотр таких трактовок базируется на идее *самоуправления* (и его конкретизации, поисковой оптимизации энергетики) как основного способа реализации процесса приспособительного поведения живого, в том числе и в эволюционном масштабе времени. Этот пересмотр состоит в признании наличия в этом процессе (как будет далее продемонстрировано) четырех селективных механизмов плюс одного канализирующего, которые отслеживают целевые критерии поисковой оптимизации энергетики, присутствующие в пяти иерархических контурах, совместно образующих целостную иерархическую систему живой природы.

Конечно, к понятию *цели* эволюционного процесса неodarвинисты относятся негативно. Так, А. С. Северцов пишет: «Селектогенез не только не отрицает закономерность и направленность эволюции, но и вскрывает биологические причины этих явлений. В рамках селектогенеза нет места только телеологии – представлению о существовании идеи эволюционного процесса, тем более цели, служащей его движущей силой» (Северцов А. С. 2005: 351). Если при этом понимать под целью нечто сверхъестественное, то с таким мнением трудно не согласиться.

Но, как известно, телеологию определяют как «идеалистическое учение, приписывающее процессам и явлениям природы цели (целесообразность или способность к целеполаганию), которые или устанавливаются Богом (Х. Вольф), или являются внутренними причинами природы (Аристотель, Г. Лейбниц)» (СЭС 1985: 1310). Вторая трактовка телеологии из этого определения уже не вызывает столь резкого отторжения, как первая. Конечно, аристотелевская «особая нематериальная субстанция – энтелехия» как носитель изначальной целесообразности сегодня малоактуальна. Но этого нельзя сказать об энергии – вполне материальной субстанции, которая определяется как «общая количественная мера различных форм движения материи» (Там же: 1545). И представляется вполне конкурентоспособной гипотеза о том, что именно энергетический критерий эволюционного развития системы живого отражает имеющиеся факты. В рамках такого представления ***выживают биообъекты, не «наиболее приспособленные к внешней среде», а наиболее энергетически эффективные.***

Другое дело, что *из второго практически всегда следует первое*, и именно в этом причина того, что вот уже полтора столетия в умах большинства эволюционистов превалирует относительно легко наблюдаемое «приспособление» тех или иных фенотипических признаков к окружающей среде, но не практически ненаблюдаемая (особенно в ископаемых останках живого) их прижизненная интегральная энергетика. И это несмот-

ря на практическую невозможность выделять конкретные внешние структурные и поведенческие признаки биообъектов, по изменению которых будущий ход эволюции живого можно было бы – априори! – предсказывать. Так, В. И. Назаров отмечает, что «естественный отбор предстает как достаточно грубый механизм, не способный забраковать даже особи с явно уродливой организацией» (Назаров 2007: 55).

Очевидно, что обосновать адекватность такого «энергетически приспособляющегося» эволюционного процесса (протекающего в биогеоценозах и биосфере относительно медленно – в сравнении с жизненным циклом наблюдателя) эмпирически наблюдаемым реалиям можно только по аналогии с подобными ему адаптивными процессами (протекающими в многоклеточных организмах и клетках со значительно меньшими характерными временами, допускающими возможность их непосредственного изучения). Причем само это «подобие» следует из целостного рассмотрения живой природы в ее развитии как единой самоуправляющейся системы.

2. О механизме иерархической адаптивной поисковой оптимизации живого

Основную идею процедуры поисковой оптимизации лучше всего представить на некотором гипотетическом примере ее применения. Рассмотрим совокупность неких субъектов S , каждый из которых «ведет себя» во времени – влияя на остальных – каким-то, а priori непредсказуемым, образом (то есть проявляет собственную активность поведения, если угодно – свободу воли). Представим себе, что некто должен каким-то образом перманентно оценивать текущую результативность поведения всей совокупности этих субъектов S как целого. И зададимся вопросом: базируясь на каких именно соображениях – и какими средствами – он может это делать? Ответ на этот вопрос (в рамках предлагаемой концепции) выглядит так.

Во-первых, этот некто может следить за значениями некоторого интегрального параметра Q , зависящего от поведения субъектов S так называемым **экстремальным образом** (то есть имеющего экстремум – максимум или минимум – в пространстве возможных поведений субъектов S) и отражающего эффективность суммарного поведения всей группы субъектов S как целого. Для этого ему достаточно запомнить последнее измеренное значение Q и сравнить с ним вновь полученное. Если новое лучше старого, деятельность всей совокупности субъектов S на данном временном шаге признается успешной (даже если некоторые из них действовали явно не лучшим образом) и могущей быть продолженной в том же духе, а новое значение Q запоминается. В противоположном случае деятельность всей совокупности субъектов S признается неудачной (даже если некоторые из них действовали явно лучшим образом) и всем им подается сигнал на изменение своего поведения, а значение Q сохраняется

прежним. В результате, как легко видеть, осуществляются сравнительное оценивание вариантов совокупного поведения группы субъектов S на данном и прежнем временных шагах и *направленная селекция* этих вариантов (то есть направленная к экстремуму параметра Q).

Во-вторых, этот некто может следить за значениями некоторых других интегральных параметров, также зависящих от поведения субъектов S и при этом отражающих дополнительные требования к суммарному поведению всей группы субъектов S . Часть из них, образующая множество G – так называемые **ограничения типа равенств**, – задает «каналы» (некоторые предпочтительные варианты) совокупного поведения группы субъектов S как целого, то есть определяет *канализирующую селекцию* рассматриваемого процесса. Остальные из них, образующие множество H – так называемые **ограничения типа неравенств**, – ограничивают совокупное поведение группы субъектов S как целого, запрещая возможность реализации некоторых их вариантов. Подобную процедуру естественно назвать *ограничивающей селекцией*.

Наконец, возможен еще один тип селекции – так называемая *селекция посредством внешнего дополнения* W , – не являющаяся оценкой поведения субъектов S и происходящая за счет влияний внешней по отношению к ним неспецифической среды.

Вышеперечисленные четыре разновидности селекции объединяет тот факт, что все они так или иначе сводятся к изменению спектра субъектов S (в составе группы) в ходе процесса их приспособительного поведения. Но при этом следует отметить, что сами значения целевых критериев группового приспособительного поведения Q , G , H существенным образом зависят от конкретного состава образующих группу субъектов S . Ясно, что за достаточно продолжительное время описываемого процесса спектр этих субъектов сильно изменяется, реализуя проявление так называемой **системной памяти** M (Гринченко 2004). В контексте рассматриваемого процесса относительно медленный процесс влияния дрейфа структуры группы субъектов S на их приспособительное поведение естественно назвать *структурной канализируемостью* последних.

Итак, основными средствами реализации поисково-оптимизационного процесса являются:

- 1) селекция направленная (задающая тенденцию изменения приспособительного поведения субъектов S в направлении экстремума общегруппового целевого критерия Q);
- 2) селекция канализирующая (задающая предпочтительные варианты приспособительного поведения субъектов S в составе группы согласно общегрупповому целевому критерию G);
- 3) селекция ограничивающая (запрещающая нежелательные варианты приспособительного поведения субъектов S в составе группы согласно общегрупповому целевому критерию H);

4) селекция посредством внешнего дополнения W (никак не связанная с проявлениями активности субъектов S в составе группы);

5) канализируемость структурная (посредством параметрических влияний системной памяти M на все перечисленные 4 типа селекции).

Если согласиться с утверждением о высокой эффективности и главное – универсальности поисково-оптимизационного процесса, что с достаточной степенью уверенности демонстрируется в технической кибернетике (см., например: Растргин 1981), то естественно возникает вопрос: наблюдается ли этот идеализированный кибернетический процесс где-либо в живой природе?

3. Адаптивная поисковая оптимизация в иерархии живого

Опираясь на подробную аргументацию, приведенную в работе Гринченко (2004), на этот вопрос можно дать положительный ответ.

Целенаправленность в соответствующих контурах поисковой оптимизации системы живой природы (то есть ее целевые критерии) выступает в качестве *системообразующего* фактора – инструмента сопряжения функциональных проявлений внутренней среды соответствующих подсистем и их внешнего специфического окружения. При этом целевой критерий экстремального типа отражает *энергетику* системы живого.

Более того, в иерархии системы живой природы процесс поисковой оптимизации – локально – наблюдается сразу в нескольких ее местах (подсистемах, иерархически вложенных друг в друга), образующих в результате *целостный* процесс поисковой оптимизации системы живого. При этом в качестве упомянутого выше «некто» выступают биообъекты, относящиеся к «основным уровням/ярусам биологической интеграции»: 1) так называемым «элементонам» (прокариотическим ячейкам и ультраструктурным внутриклеточным элементам эвкариот); 2) одноклеточным эвкариотам (сложным клеткам); 3) многоклеточным организмам; 4) биогеоценозам; 5) биогеосфере в целом. Именно они задают всем образующим их (то есть иерархически вложенным в них) биообъектам целевые критерии приспособительного поведения Q , G и H , а верхние (в иерархии) биообъекты задают влияния системной памяти M на нижние. Полный же перечень биообъектов, слагающих иерархическую систему живой природы, выглядит следующим образом (см. также Рис. 2, на котором восходящие стрелки отражают 1-ю из 3-х основных переменных контура поисковой оптимизации – активность представителей соответствующих ярусов в иерархии; нисходящие сплошные отражают 2-ю из основных перемен-

ных – целевые критерии; нисходящие пунктирные отражают 3-ю из основных переменных – системную память):

+6. **Биогеосфера (БГС)** (размер ~ десятки мегаметров, характерное время поисковой активности [ХВПА] ~ тысячелетия);

+5. БГС-компарменты – природные зоны (размер ~ мегаметры; ХВПА ~ века);

+4. БГС-субкомпарменты – биомы (размер ~ сотни км; ХВПА ~ декады);

+3. **Биогеоценозы (БГЦ)** (размер ~ километры; ХВПА ~ месяцы – около 1 года);

+2. БГЦ-компарменты – парцеллы (размер ~ гектаметры; ХВПА ~ декасутки);

+1. БГЦ-субкомпарменты – популяции (размер ~ декаметры; ХВПА ~ сутки);

0. **Многоклеточные организмы (МО)** (размер ~ метры; ХВПА ~ часы);

–1. МО-компарменты – органы (размер ~ дециметры; ХВПА ~ минуты);

–2. МО-субкомпарменты – ткани (размер ~ сантиметры; ХВПА ~ декасекунды);

–3. **Сложные клетки-эвкариоты** (размер ~ сотни микрометров; ХВПА ~ секунды);

–4. Внутриклеточные компарменты (размер ~ десятки мкм; ХВПА ~ децисекунды);

–5. Внутриклеточные субкомпарменты (размер ~ мкм; ХВПА ~ сантисекунды);

–6. **Элементы (прокариоты)** (размер ~ сотни нанометров; ХВПА ~ сотни микросекунд);

–7. Макромолекулярные структуры (размер ~ десятки нанометров; ХВПА ~ десятки микросекунд);

–8. Органические молекулы (размер ~ сотни пикометров; ХВПА ~ микросекунды);

–9. **Атомы** (размер ~ десятки пикометров; ХВПА ~ сотни наносекунд).

Таким образом, в рамках предлагаемой концепции к фундаментальным свойствам системы живой природы отнесена *обобщенная адаптивность*, или *обобщенная приспособляемость*, реализующая имманентную системе живого тенденцию к активности, экспансивности и структурируемости посредством стремления к *гармоничности*, то есть к согласованию внутренних интересов подсистем с потребностями их внешнего окружения.

Термин *обобщенная* указывает здесь именно на то важнейшее явление, что адаптивность проявляется – причем *перманентно* – по отношению к изменениям не только *внешней* (для целостной системы живой природы) неспецифической среды, но и ее *внутренней* специфической среды. Это справедливо для всех основных уровней интеграции системы живого.

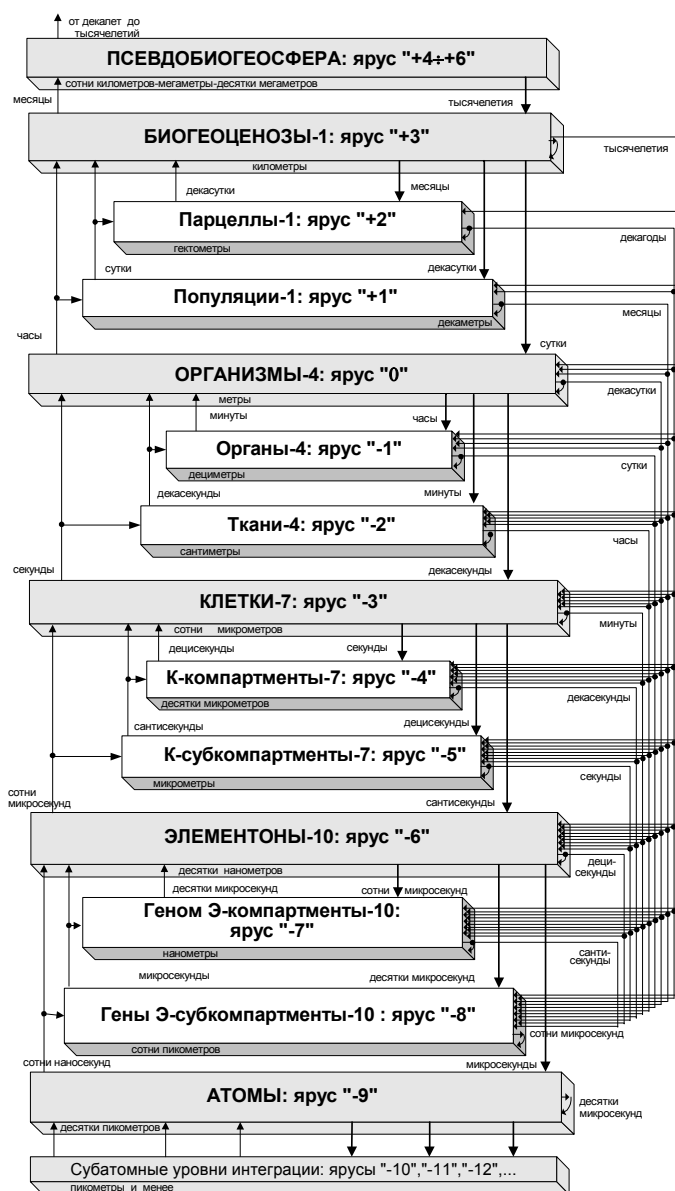
То есть процессы во *всех* контурах поисковой оптимизации энергетики живой природы реализуют процессы обобщенной адаптации. Но традиционно сравнительно быстро (по отношению к темпу нашего восприятия их) протекающие приспособительные процессы, то есть происходящие в контурах системы живого «сложные клетки – элементоны» и «многоклеточные организмы – сложные клетки», называют *адаптацией* (соответственно *клеточной* и *организменной*). По аналогии сравнительно медленно (по отношению к темпу нашего восприятия их) протекающие приспособительные процессы, то есть происходящие в контурах «биогеоценозы – многоклеточные организмы» и «Биогеосфера – Биогеоценозы», следует называть *эволюцией* (соответственно *биогеоценотической* и *биогеосферной*). При этом сразу следует оговориться, что к определяемым таким образом процессам эволюции нельзя относить процессы, связанные с ростом иерархии самой системы живого!

Определим в связи с этим понятие *«метаэволюция»* как *процедуру наращивания ярусов в иерархической системе в ходе ее формирования как таковой*. Это понятие опирается на предложенный В. Ф. Турчиным (2000: 75) для описания аналогичных локальных процедур термин «метасистемный переход» и фактически обобщает его, поскольку подразумевает собой *последовательность* таких метасистемных переходов.

Тогда именно этот термин будет описывать процессы, связанные с возникновением в отдаленном прошлом Земли представителей новых ярусов иерархической системы живого: вначале, около 3,6 млрд лет назад, – прокариот, затем, около 2,59 млрд лет назад, – сложных клеток-эвкариот, далее, около 1,58 млрд лет назад, – многоклеточных организмов и, наконец, около 0,57 млрд лет назад – биогеоценозов (Гринченко 2004; 2007).

Предлагаемая концепция базируется на том, что процессы метаэволюции живого *не являются* приспособительными, а, напротив, происходят вполне *регулярно*, причем внутри указанных миллиардолетий длительности ее меньших фаз подчиняются математическому расчету.

Сопоставление процессов биогеоценотической эволюции и биогеосферной эволюции с находящимися в центре внимания биологов-эволюционистов процессами микроэволюции, «совокупности эволюционных процессов, протекающих внутри вида» (СЭС 1985: 801), и макроэволюции, «совокупности процессов эволюции живых форм на надвидовом уровне» (там же: 746), показывает, что эти две группы терминов «высвечивают» совершенно различные объекты своего рассмотрения. В соответ-



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

Рис. 2. Схема механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации живой природы

ветствии с определением вида («совокупности популяций особей, способных к скрещиванию с образованием плодовитого потомства, обладающих рядом общих морфофизиологических признаков, населяющих определенный ареал, обособленных от других нескрещиваемостью в природных условиях» [СЭС 1985: 218]), размеры ареала проживания рассматриваемого вида определяются его спецификой и тем самым носят для собственно микроэволюции вторичный характер (в частности, вид может присутствовать во множестве биогеоценозов, не обязательно смежных в пространстве). Тогда как биогеоценозическая эволюция протекает по определению в пределах конкретного биогеоценоза (с характерным размером – радиусом условного круга – порядка 15 км) и охватывает *все* виды, его населяющие. Здесь уместна аналогия с объяснением поведения, например, собаки на основе лишь введенного более ста лет назад И. П. Павловым понятия «условный рефлекс» и современными подходами к объяснению поведения высокоорганизованных животных в целом, базирующимися на представлении не только физиологии, но и зоопсихологии, этологии и т. п.

То же самое справедливо и для следующей сопоставляемой пары. В зависимости от выбора рассматриваемого надвидового таксона (род, семейство, отряд и т. д. [Марков, Наймарк 1998]) в рамках его макроэволюции, по идее, конкретизируется и размер вмещающего его ареала. Тогда как в биогеосферной эволюции изначально выделяются свои характерные размеры (порядка 222 км, 3370 км и 51 тыс. км), к которым тяготеют ареалы проживания *всех* представителей живого, активно взаимодействующих (конкурентно, симбиотически и т. п.) между собой в этих пространственных границах.

Таким образом, в рамках предлагаемой концепции намечается новый ракурс исследования эволюционных процессов в живой природе, при котором микроэволюционные исследования отдельных видов выступают в качестве первичных этапов изучения биогеоценозической эволюции, а макроэволюционные – биогеосферной эволюции.

4. Поисковая активность в иерархии живого

Представители всех ярусов в иерархии живого проявляют *активность*, которую можно интерпретировать как *поисковую*. В работе «Системная память живого...» (Гринченко 2004) роль и значение активности/поисковой активности в системе живой природы рассмотрена достаточно подробно, со ссылками на авторитетные мнения признанных специалистов. В частности, об активности пишут следующие исследователи. Л. С. Берг: «Какая причина заставляет изменяться в определенном направлении, это пока для нас скрыто. Известное влияние принадлежит внешним факторам, то есть окружающей среде, географическому ландшафту. Но замечательно, что организм обладает способностью активно

приспособляться к среде, обнаруживая при этом как бы присутствие некоего *внутреннего регулирующего принципа* (курсив мой. – С. Г.), а с другой стороны – развитие идет, нередко вопреки внешним условиям, в определенном направлении, в силу внутренних, конституционных причин, связанных с химическим строением протоплазмы» (Берг 1922: 48); Н. А. Бернштейн: «Активность выступает как наиболее общая всеохватывающая характеристика живых организмов и систем» (Бернштейн 1966: 329); М. И. Сетров: «Не вызывает сомнения целесообразность для живой системы способности к самодвижению: только таким путем она может избегать разрушительных воздействий внешней среды и *отыскивать* оптимальные условия пополнения энергии, осуществлять сам этот процесс пополнения. Но для того, чтобы находиться в таких отношениях со средой, необходимо правильно оценивать ее состояние и быть *активным*. Если способ оценки устанавливается естественным отбором, то что значит быть *активным*? Суть *активности* живого в его сигнально-информационном использовании свободной энергии» (Сетров 1975: 43–44); В. С. Ротенберг: «Поисковая активность – активность, направленная на изменение ситуации (или отношения к ней) при отсутствии определенного прогноза результатов этой активности, но при постоянном учете достигнутых результатов» (Ротенберг 1985: 86); А. П. Назаретян: «*Потребность (нужда) в активности* представляют собой не “одну из” многочисленных нужд живого существа, а своего рода метапотребность органической материи, которая, воплощаясь в каждом отдельном организме и связывая его со всей системой биосферы, становится лейтмотивом его существования <...> каждый организм, равно как и любой его орган, будучи элементом более общей системы (популяции, биосферы), для выполнения в ней некоторых функций запрограммирован прежде всего на сам процесс функционирования. Общефилософской предпосылкой для такого допущения служит представление о движении как самом фундаментальном свойстве материи, включающем момент “напряженного” противодействия каждой системы уравнивающим фактором, ... и о биологической активности – как форме движения» (Назаретян 1986: 162–163); Ю. В. Сачков: «Активность живых систем упорядочена. Проявление ее действий определенным образом канализируется, оно не хаотично... Активность, свойственная живым системам, служит делу их созидания» (Сачков 2002: 162–163). В свою очередь М. Д. Голубовский отмечает: «Открытия в области подвижной генетики показали, что клетка как целостная система в ходе отбора может адаптивно перестраивать свой геном. Она способна ответить на вызов среды *активным генетическим поиском* (курсив мой. – С. Г.), а не пассивно ждать случайного возникновения мутации, позволяющей выжить» (Голубовский 2001: 7).

С учетом этих и иных подобных мнений в работе «Системная память живого...» (Гринченко 2004) активность декларирована в качестве основополагающего фактора приспособительного поведения живого и одной из 3-х основных переменных механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации его энергетики. Здесь уместно отметить, что в рамках современных эволюционных теорий роль активности как важнейшего эволюционного фактора практически не акцентируется (см., например: Воронцов 1999, Чайковский 2003, Назаров 2007), но в самое последнее время роль активности в эволюционном процессе стала характеризоваться как первостепенная (см.: Чайковский 2006).

5. Энергетические критерии поисковой оптимизации биологических систем

С позиций предлагаемого подхода биообъекты, относящиеся к основным уровням интеграции живого, проявляют *тенденцию* вести себя таким об-

разом, чтобы перманентно выполнялось условие: $Q_t = \frac{E_t^{(p)}}{E_t^{(\phi)}} \rightarrow \min$,

где t – интервал усреднения времени; $E_t^{(\phi)}$ – поток энергии, затрачиваемой на обеспечение специфической функциональной активности биообъекта (например, для клетки – рецепции входных сигналов и обеспечения выходной реакции); $E_t^{(p)}$ – поток дополнительной энергии, вырабатываемой во время переходных процессов в биообъекте и затрачиваемой на перестройку его внутренней структуры. Речь идет именно о долговременной тенденции, ибо реакция биообъектов на текущие раздражители связана с увеличением $E_t^{(p)}$. Легко показать, что минимизация Q_t эквивалентна максимизации КПД такого биообъекта (если рассматривать, с точки зрения внешней специфической среды, в качестве «полезных» $E_t^{(\phi)}$, а в качестве «бесполезных» – $E_t^{(p)}$). Имеются ли в пользу подобной интерпретации эволюционной роли энергетических потоков в биосистеме достаточные аргументы? Да, близкие трактовки высказываются в целом ряде работ, они опираются на представления о всеобщности применения вариационных принципов в естествознании, о которых Н. Н. Моисеев пишет: «...любые законы неживого мира – вариационные принципы, из которых следуют законы сохранения в механике, электродинамике и других областях физики, второй закон термодинамики, закон минимума диссипации энергии и многие другие, описываемые в терминах “эволюционной теории” в широком смысле, поскольку все эти законы являются, по сути

дела, тем или иным отбором реальных движений, реальных траекторий из числа виртуальных, то есть мысленно возможных» (Моисеев 1986: 70).

Так, А. П. Руденко отмечает: «Длинные цепи эволюционных изменений могут осуществляться только в том случае, если происходит затрата энергии базисной реакции на эволюционные превращения, то есть если базисная реакция совершает полезную работу в конституционной сфере. При этом к.п.д. базисной реакции в ходе длительной эволюции имеет тенденцию к возрастанию» (Руденко 1971: 41).

М. А. Ханин и Н. Л. Дорфман заявляют: «Можно сформулировать частные виды критериев энергетической оптимальности биологических систем: <...> минимум основного обмена (то есть минимум мощности, потребляемой организмом в состоянии покоя), <...> максимум КПД организма как преобразователя химической энергии в механическую, максимум коэффициента усвоения пищи, минимум суммарной мощности, потребляемой системой транспорта кислорода при фиксированной функции этой системы (то есть заданном нормальном потреблении организмом кислорода) и т. п.» (Ханин, Дорфман 1977: 134).

Н. С. Печуркин указывает: «При длительном развитии и особенно эволюции живых систем существенную роль должны играть процессы, направленные на улучшение качества использования энергии <...> “Подъем энергии жизнедеятельности” и, в частности, “повышение дыхательной функции”, по А. Н. Северцову (Северцов 1967: 79–80), являются одними из главных эволюционных изменений. При этом очень существенно, чтобы траты энергии на образование собственно биологической структуры и ее содержание без выполнения других функций (типа основного обмена у животных) минимизировались. “Приспособления, снижающие потребность в энергии, имеют большее значение, чем повышение интенсивности размножения” (Шварц 1967: 520). Однако общий поток энергии через систему (популяцию, экосистему) должен возрастать. “Согласно закону максимизации энергии, в борьбе за существование выживают те системы, которые интенсивно эксплуатируют энергетические источники и обеспечивают большую энергомощность системы (то есть потребляют энергию наиболее эффективным образом)” (Odum Н., Odum Е. 1976: 118; Одум Г., Одум Э. 1978: 118)... Влияние энергетических принципов в непосредственной или опосредованной форме должно проявляться на всех этапах эволюции, демонстрируя ее преемственность (но не постоянство скорости) и направленность» (Печуркин 1982: 73–74, 106–107).

И. И. Свентицкий, настаивая на общей биоэнергетической направленности структур и функций живых систем как основном законе самоорганизации живого, формулирует: «Сущность закона выживания в том, что все элементы (объекты) самоорганизующейся природы, особенно живые, в своем развитии (индивидуальном, эволюционном) самопроизвольно

устремлены к состоянию, обеспечивающему наиболее полное использование доступной свободной (работоспособной, превратимой) энергии в существующих условиях системой трофического уровня, в которую он входит. Этот закон обусловил важнейшее свойство самоорганизующейся природы: все ее объекты, включая организм человека, энергоэкономны... В соответствии с законом выживания принцип “выживает сильнейший”... логично заменить на <...> выживает “энергоэкономный”» (Свентицкий 2000).

По мнению И. И. Гительзона, «наибольший интерес представляет стремление найти количественное выражение энергетической зависимости эволюции и вывести ее принципы через энергетические принципы экстенсивного и интенсивного развития. Эти показатели приобретают не оценочное, а фундаментальное значение факторов, направляющих эволюцию, если строго доказать, что каждый элементарный шаг отбора на уровне микроэволюции дает энергетический выигрыш» (Гительзон 1982: 4). С позиций предлагаемой концепции последнее, безусловно, верно, но с единственным уточнением, что в качестве «элементарного шага отбора» должна рассматриваться некоторая серия поисковых шагов оптимизации энергетики живого, а не каждый отдельный поисковый шаг (могущий приводить и к локальному «проигрышу»).

Таким образом, целевые критерии, важнейшим из которых является экстремальный критерий энергетического характера, представляют собой вторую из 3-х основных переменных контура поисковой оптимизации живого.

6. Системная память в иерархии живого

К третьей из 3-х основных переменных контура поисковой оптимизации живой природы должна быть отнесена *системная память* – понятие, которое было введено в работе «Системная память живого...» (Гринченко 2004) как характеристика запоминания/забывания влияний со стороны высших ярусов иерархической поисковой оптимизационной системы *живой* природы на процесс формирования приспособительного поведения элементами каждого из вложенных в последние (по принципу «матрешки») низших ярусов. Именно наличием межъярусной *системной памяти* живая природа отличается от неживой, что позволяет определить *жизнь* как *форму существования фрагментов системы природы, обладающих системной памятью*.

Более формально это понятие определяется так: «Будем называть *системной памятью* объекта некоторого уровня/яруса в иерархии:

а) его *способность (свойство)* к воспроизведению (учету) прошлого опыта о ходе процесса иерархической оптимизации в иерархической системе, реализуемую с помощью *запоминания, хранения и считывания ин-*

формации 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 ее *механизм* введения ограничений на поисковые оптимизационные процессы, происходящие на рассматриваемом и на всех вложенных в него (нижележащих в иерархии) уровнях/ярусах иерархической системы» (Гринченко 2004: 177).

Наиболее адекватную интерпретацию понятия системной памяти возможно сделать на базе анализа опыта разработки и применения механизмов обучения и самообучения поисковых оптимизационных алгоритмов с адаптациями, ряд параметров которых естественно трактуется как параметры процессов запоминания, сохранения, забывания и «считывания» памяти. То есть *системной памяти* о траектории поиска, ее ограничениях (на поисковые переменные типа гиперкуба их допустимых значений) и результатах (значениях целевых критериев) процесса приспособительного поведения компонент каждого из ярусов рассматриваемого иерархического контура, а также о параметрах собственно механизма поисковой оптимизации (лимитирования и закона изменения величины поискового шага, глубины памяти поискового механизма, его вероятностных характеристик и т. п.).

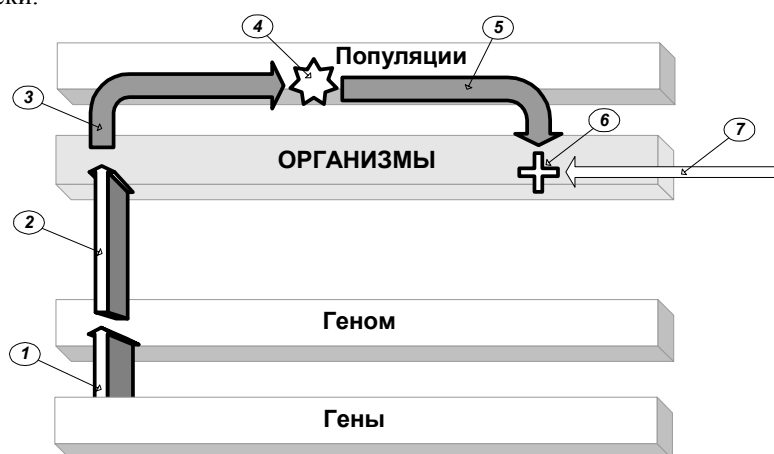
Можно утверждать, что первичные механизмы поисковой оптимизации в системе природы, то есть те механизмы, которые работали, начиная с момента ее возникновения (как *системы*), могли быть только *абсолютно случайными*, с равномерным распределением вероятностей случайного шага во всех направлениях поискового пространства. Но затем, по мере *развития* системы природы и выделения в ней подсистемы *живой природы*, среди этих механизмов с необходимостью (за счет появления средств запоминания предыстории поиска, то есть *системной памяти*) стали появляться их адаптивные варианты. Последние, обладая существенно более высокой эффективностью, и в частности возможностью перманентно обеспечивать компромисс между противоречивыми требованиями к поиску (повышения его быстродействия при одновременном повышении точности отслеживания экстремума целевой функции), находят себе все большее применение. Но при этом они не вырождаются в «полностью» детерминированные алгоритмы, сохраняя в своих основных характеристиках ту или иную степень случайности.

Тем самым *системная память* иерархической системы живого (рассматриваемой как иерархический механизм адаптивного случайного поиска) обеспечивает *дополнительно* не только к дарвиновской *ненаправ-*

ленной селекции по алгоритму «проб и ошибок», но и к механизму *направленной* селекции по совокупности энергетических критериев и по простейшему (с единичной глубиной памяти) алгоритму случайного поиска *канализируемость* эволюции живого, то есть феномен, на который указывает ряд «номогенетических» теорий.

7. О реконструкции схемы дарвиновского механизма биологической эволюции

На Рис. 3 приведена реконструкция схемы дарвиновского механизма биологической эволюции, то есть то видение этого механизма, которое, с моей точки зрения, могло бы быть у современных последователей Ч. Дарвина – «неодарвинистов», если бы они рассмотрели его иерархически.



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

Рис. 3. Реконструкция схемы механизма биологической эволюции по Ч. Дарвину

Цифрами в кружках здесь обозначены: 1 – *имманентная активность*, то есть «*изменчивость*», проявляемая генами; 2 – процесс онтогенеза (индивидуального развития организма), отражающий «*наследственность*»; 3 – проявление *специфического поведения* (активности) организмов в рамках соответствующих популяций; 4 – *селектор* получаемого на базе конкурентной борьбы между особями результата, определяемый *целевой функцией* (в данном случае только ограничениями типа равенств и типа неравенств), то есть «*естественный отбор*» на базе критерия «*приспособленности*»; 5 – процесс сообщения отрицательного результата се-

лекции на организменный уровень; 6 – процедура «изъятия» организма из популяции (его гибель или как минимум лишение возможности дать новое потомство); 7 – «*внешнее дополнение*», то есть внешнее неспецифическое воздействие на организм (например, катастрофического характера: пожар, наводнение, извержение вулкана, резкое похолодание и т. п.), также приводящее к его устранению из популяции. Места для третьей важнейшей составляющей поискового оптимизационного механизма – *системной памяти* – в рамках описываемой *неодарвинистской* схемы нет.

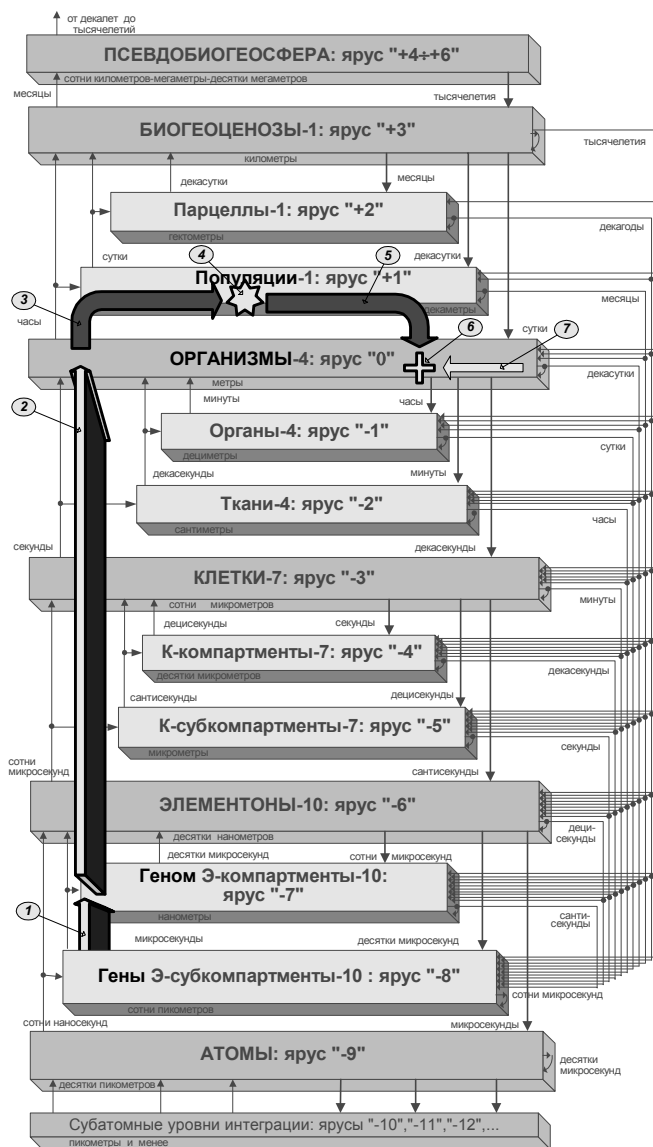
На Рис. 4 эта реконструкция схемы дарвиновского механизма биологической эволюции «спроецирована» на схему механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации живой природы (Гринченко 2004): сложность их несопоставима...

Тем не менее, из трех основных составляющих поискового оптимизационного механизма эволюции Ч. Дарвином гениально угадано (причем почти 150 лет назад, за сотню лет до создания кибернетики!) примерно «полторы»:

1) введено (хотя и неявно) понятие «генератора активности», что следует из трактовки им понятия «*изменчивости*» (которое вполне можно интерпретировать в качестве «поисковой активности») как фундаментального в его теории;

2) введен прообраз селектора – «*естественный отбор*» и прообраз целевой функции (правда, не экстремального типа, а лишь в форме целевых ограничений типа неравенств и селекции посредством внешнего дополнения) – то есть прообраз собственно контура оптимизации как такового (но, оказывается, всего одного, а не пяти, иерархически вложенных друг в друга).

В свою очередь многие факты, которыми обосновывают теории номогенеза, хорошо ложатся в схему третьей составляющей этого механизма – системной памяти живого. Тем самым дарвинистские и номогенетические теории эволюции – точнее, их *модифицированные версии* – *объединяются в рамках единой схемы перманентной иерархической поисковой оптимизации живой природы*. Памятуя, что «естественный отбор бесспорно остается движущим фактором эволюции, но не единственным, дарвиновская и “недарвиновская” эволюции взаимно не противоречивы» (Воронцов 1999: 606), что «в биологии термин “эволюция” применяется в различных смыслах... и дискуссия между сторонниками номогенеза и дарвинистического подхода основана на непонимании того, что эти концепции дополнительные, а не взаимоисключающие» (Жерихин, Раутиан 1997), предлагаемый подход можно рассматривать как средство преодоления этого непонимания.



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

Рис. 4. Проекция реконструкции неodarвинистской модели биологической эволюции на схему механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации живой природы

Заключение

Когда В. Ф. Турчин писал свою книгу под названием «Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции» (подготовлена к печати в 1970 г.), главная тема которой – эволюция Вселенной как последовательность метасистемных переходов, он придерживался той точки зрения, что «механизм развития жизни, открытый Чарльзом Дарвином, можно назвать основным законом эволюции. В наши цели не входит обоснование или обсуждение этого закона с точки зрения тех законов природы, которые можно было бы провозгласить более фундаментальными. Будем принимать основной закон эволюции как нечто данное» (Турчин 2000: 21).

По прошествии почти четырех десятков лет бурных дискуссий среди биологов-эволюционистов становится ясно, что дарвиновский механизм в своем основном качестве – изменчивости – по-прежнему актуальный, описывает далеко не все явления биологической эволюции и требует модернизации в иных аспектах. В частности, уточнения понятия «отбор», а также напрашивающегося объединения идеи этого механизма с номогенетическими идеями о процессе биологической эволюции (естественно, соответствующим образом преломленными и интерпретированными).

Как оказывается, сделать это можно, причем в рамках именно кибернетического представления, опираясь на существенно обновленный по сравнению с 1960-ми гг. кибернетический инструментарий. Предлагаемый в работе «Системная память живого...» (Гринченко 2004) *механизм иерархической адаптивной поисковой оптимизации энергетики живого* должен при этом выступить в качестве некоторого универсального скелета будущей теории биологической эволюции на Земле, использующего *междисциплинарный* язык описания ее основных процессов. Задача же (и огромное поле деятельности!) биологов-эволюционистов – перевести предсказываемые на этом языке представления об их ходе на языки, используемые в том или ином разделе биологической науки, на том или ином ярусе описания системы живой природы. То есть продолжить движение в направлении, лишь намеченном в свое время И. И. Шмальгаузен, но по различным причинам (среди которых была и ограниченность самих кибернетических основ) не развивавшемся достаточно широко и поэтому не давшем значимых результатов. Есть все основания надеяться, что современный развитый кибернетический инструментарий позволит их получить. Настало время приступать к этой работе!

Библиография

- Берг Л. С. 1922. *Номогенез, или эволюция на основе закономерностей*. Пг.: Госиздат.
- Бернштейн Н. А. 1966. *Очерки по физиологии движений и физиологии активности*. М.: Медицина.

- Воронцов Н. Н. 1999.** *Развитие эволюционных идей в биологии.* М.: УНЦ ДО МГУ; Прогресс-Традиция, АБФ.
- Гительзон И. И. 1982.** От редактора. В: Печуркин Н. С. *Энергетические аспекты развития надорганизменных систем*, с. 3–4. Новосибирск: Наука.
- Голубовский М. Д. 2001.** Неканонические наследственные изменения. *Природа* 8: 3–9; 9: 3–8.
- Гринченко С. Н. 2004.** *Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры).* М.: ИПИ РАН; Мир. Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/>
- Гринченко С. Н. 2007.** *Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы).* М.: ИПИ РАН. Интернет-ресурс. Режим доступа: http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/book_2/
- Дарвин Ч. 2003.** *Происхождение видов путем естественного отбора.* М.: Тайдекс Ко.
- Жерихин В. В., Раутян А. С. 1997.** *Филоценогенез и эволюционные кризисы.* Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.evolbiol.ru/rautian2.htm>
- Лима-де-Фариа А. 1991.** *Эволюция без отбора: Автоэволюция формы и функции.* М.: Мир.
- Любимцев А. А. 1982.** *Проблемы формы, систематики и эволюции организмов.* М.: Наука.
- Ляпунов А. А. 1980.** *Проблемы теоретической и прикладной кибернетики.* М.: Наука.
- Марков А. В., Наймарк Е. Б., 1998.** Количественные закономерности макроэволюции. Опыт применения системного подхода к анализу развития надвидовых таксонов. *Труды Палеонтологического ин-та.* Т. 273. М.: Геос.
- Моисеев Н. Н. 1986.** Козволюция человека и Биосферы: кибернетические аспекты. *Кибернетика и ноосфера*, с. 68–81. М.: Наука.
- Назаретян А. П. 1986.** *Кибернетика и интеграция наук. Об интегративных перспективах системно-кибернетического стиля мышления.* Ереван: Айастан.
- Назаров В. И. 2007.** *Эволюция не по Дарвину: Смена эволюционной модели.* М.: ЛКИ.
- Одум Г., Одум Э. 1978.** *Энергетический базис человека и природы.* М.: Прогресс.
- Печуркин Н. С. 1982.** *Энергетические аспекты развития надорганизменных систем.* Новосибирск: Наука.
- Растригин Л. А. 1981.** *Адаптация сложных систем. Методы и приложения.* Рига: Зинатне.
- Ротенберг В. С. 1985.** Поисковая активность, сон и устойчивость организма. *Кибернетика живого: человек в разных аспектах*, с. 80–91 / Ред. И. М. Макаров. М.: Наука.
- Руденко А. П. 1971.** Химическая добиологическая эволюция каталитических систем и критерий живого, с. 37–56. *Критерий живого.* М.: МГУ.
- Сачков Ю. В. 2002.** Автономность в причинных сетях. *Причинность и телеономизм в современной естественно-научной парадигме*, с. 154–174. М.: Наука.

- Свентицкий И. И. 2000. Закон энергетической экстремальности и проблемы науки. Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://karev.narod.ru/Extremum.htm>
- Северцов А. Н. 1967. Главные направления эволюционного процесса (морфобиологическая теория эволюции). М.: МГУ.
- Северцов А. С. 2005. Теория эволюции. М.: ВЛАДОС.
- Сетров М. И. 1975. Информационные процессы в биологических системах. Л.: Наука.
- Советский энциклопедический словарь (СЭС). 1985 / Ред. А. М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия.
- Турчин В. Ф. 2000. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. М.: ЭТС.
- Ханин М. А., Дорфман Н. Л. 1977. Энергетический подход к математическому моделированию динамики биоценозов и к теории оптимальных структурно-функциональных параметров биологических систем. *Вопросы кибернетики*. Вып. 32. Энергетический подход к исследованию систем, с. 123–135. М.: Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика».
- Чайковский Ю. В. 2003. Эволюция. Вып. 22. Ценологические исследования. М.: Центр системных исследований ИИЕТ РАН.
- Чайковский Ю. В. 2006. Наука о развитии жизни. Опыт теории эволюции. М.: Т-во научных изданий КМК.
- Шварц С. С. 1967. Общие закономерности, определяющие роль животных в биогеоценозах. *Журнал общей биологии* 28(5): 510–522.
- Шишкин М. А. 2006. Индивидуальное развитие и уроки эволюционизма. *Онтогенез* 37(3): 179–198.
- Шмальгаузен И. И. 1958 [1968]. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука.
- Darwin Ch. 1859. *The Origin of The Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in The Struggle for Life*. London: J. Murray, Albemarle Street.
- Lima-de-Faria A. 1988. *Evolution without Selection. Form and Function by Autoevolution*. Amsterdam; New York; Oxford: Elsevier.
- Odum H. T., Odum E. C. 1976. *Energy Basis for Man and Nature*. N.Y.: McGraw-Hill Book Company.

Аннотация

Живая природа в целом рассматривается как самоуправляющаяся иерархическая система, реализующая свое приспособительное поведение посредством механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации энергетики живого. Сравнительно быстро протекающие приспособительные процессы, происходящие в иерархических контурах системы живого «сложные клетки–элементы (прокариоты)» и «многоклеточные организмы–сложные клетки», традиционно называют *адаптацией* (соответственно *клеточной* и *организменной*). По аналогии сравнительно медленные приспособительные процессы, происходящие в иерархических контурах «биогеоценозы–многоклеточные организмы» и «биогеосфера–биогеоценозы», следует называть *эволюцией* (соответственно *биогеоценотической* и *биогеосферной*), отличая их от процесса *метаэволюции* – процедуры наращивания числа ярусов в иерархической системе в ходе ее формирования как таковой. Термин «метаэволюция» описывает процессы, связанные с возникновением новых ярусов иерархической системы живого: ~3,6 млрд лет назад прокариот, ~2,59 млрд лет назад сложных клеток–эукариот, ~1,58 млрд лет назад многоклеточных организмов, ~0,57 млрд лет назад биогеоценозов – и продолжающего формирования биогеосферы как системы. То есть метаэволюция живого *не является* имеющим значительную стохастическую составляющую *приспособительным* процессом, а происходит вполне *регулярно*. Процессы биогеоценотической и биогеосферной эволюции сопоставляются с процессами микро- и макроэволюции. Дается реконструкция схемы дарвиновского механизма биоэволюции. Утверждается, что дарвинистские и номогенетические эволюционные теории – точнее, их модифицированные версии – вполне взаимодополнительны в предлагаемой *единой схеме перманентной иерархической поисковой оптимизации живой природы*, в рамках которой выживают биоорганизмы не «наиболее приспособленные к внешней среде» (посредством дифференциальных проявлений фенотипически значимых свойств их отдельных органов и тканей), а «наиболее энергетически (то есть интегрально) эффективные».