*«Что толку вперед смотреть, когда весь опыт сзади?»*
*Михаил Михайлович Жванецкий. За все – спасибо*

# РАЗДЕЛ 3. БАЗИСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНЦЕПЦИИ (обзор литературы)

Заявленный в названии настоящего раздела «обзор литературы» – ввиду недостатка места для подробного анализа поневоле выборочный – в своей значительной части представляет собой цитаты из работ специалистов в соответствующих отраслях знания, с моими комментариями, отражающими связь позиций их авторов с содержанием предлагаемой концепции. Столь широкое *цитирование* позволит, с моей точки зрения, избежать возможных при их *вольном пересказе* искажений смысла и даже конкретных деталей, что иногда встречается (к сожалению) в иных публикациях…

Начать же этот раздел хочется с обсуждения «классической» парадигмы современной биологической науки, которая диктует примерно следующий подход к изучению того или иного явления: «*все глубже изучай проблему, даже за счет все более узкой её постановки*». Это ярко отражается в самой структуре биологических наук. Приведу цитату из авторитетного источника:

«Одними из первых в биологии сложились комплексные науки по объектам исследования: о животных – зоология, растениях – ботаника; анатомия и физиология человека – основа медицины. В пределах зоологии сформировались более узкие дисциплины, например протозоология (изучающая многоклеточных животных – простейших), энтомология (наука {далее Н. – С.Г.} о насекомых), орнитология (Н. о птицах), териология (Н. о млекопитающих) и др.; в ботанике – альгология (Н. о водорослях), бриология (Н. о моховидных), дендрология (Н. о древесных растениях) и т.д. В самостоятельные {? – С.Г.} науки выделились микробиология (Н. о микроорганизмах), микология (Н. о грибах), лихенология (Н. о лишайниках), вирусология (Н. о вирусах). Многообразие организмов и распределение их по группам изучают систематика животных и систематика растений. Изучением прошлой истории органического мира занимается палеонтология и её разделы – палеозоология, палеоботаника, палеоэкология и др. Другой аспект классификации биологических дисциплин – по исследуемым свойствам и проявлениям (механизмам) живого. Форму и строение организмов изучают морфологические дисциплины – цитология, гистология, анатомия; состав и ультраструктуру тканей и клеток – биохимия, биофизика, молекулярная биология; образ жизни животных и растений и их взаимоотношения с условиями среды обитания – экология и более специально – гидробиология, биогеография, биогеоценология и т.д.; функции живых существ изучают физиология животных и физиология растений; закономерности поведения животных – этология; закономерности наследственности и изменчивости – предмет исследований генетики; закономерности индивидуального развития изучает эмбриология или в более широком современно понимании – биология развития; историческое развитие – эволюционное учение. Широкое проникновение математики в разделы биологии вызвало к жизни математическую биологию, биометрию. В целом для биологии характерно взаимопроникновение идей и методов различных биологических дисциплин, а также других наук – химии, физики, математики. В 20 в. возникли новые биологические дисциплины и направления на границах смежных наук, а также в связи с практическими потребностями (радиобиология, космическая биология, физиология труда, социобиология и др.)» (*[Биология,1999]*, стр. 67).

После прочтения этой пространной энциклопедической цитаты невольно возникают вопрос и замечание:

1) Вопрос: «А кто-нибудь всё же занимается биологией *в целом*?»

2) Замечание: два положения из её последнего абзаца противоречат друг другу: первое предложение говорит о синтезе идей и методов различных наук как о характерном явлении, тогда как второе снова констатирует факт все нового дробления биологии на ещё более узкие направления. Этим лишний раз

демонстрируется, что сделать вывод о каком-либо превалировании на современном этапе «синтетического» направления в развитии биологии как науки весьма затруднительно, тенденция скорее противоположна.

Тем не менее, как хотелось бы найти нечто общее в механизмах и поведении самых различных биологических объектов, выявить наиболее фундаментальные закономерности их развития и эволюции!

## 3.1. Система природы

«*Природа* 1) в широком смысле – все сущее, весь мир в многообразии его форм... 2) в более узком смысле – совокупный объект естествознания (природа в целом выступает как общее понятие, задающее принципиальную схему понимания и объяснения того или иного конкретного предмета изучения) 3) наиболее употребительно - совокупность естественных условий существования человеческого общества» *[Юдин,БСЭ,1975]*.

### 3.1.1. Система: терминология

«*Система* (от греч. συστημα – целое, составленное из частей; соединение) – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство» *[Садовский,БСЭ,1976]*. Данное краткое определение выражает не все, а лишь некоторые, наиболее употребительные аспекты понятия системы вообще.

По мнению Фритьофа Капры: «Системный взгляд рассматривает мир в терминах зависимостей и объединений… Системы есть интегрированные целые, чьи свойства не могут быть сведены к свойствам меньших единиц. Вместо того чтобы концентрироваться на основных строительных блоках или веществах, системный подход придает особое значение базовым принципам организации» *[Капра,1982]*.

Н.Ф.Реймерс приводит более развернутые определения: «Простейшее определение системы – совокупность взаимодействующих элементов, составляющих некое более или менее ограниченное целостное единство. Предполагается при этом, что связи взаимодействия между элементами внутри системы сильнее, чем с внешними по отношению к системе даже абсолютно идентичными элементами. Следовательно, у системы имеются границы – морфологические или хотя бы функциональные, не обнаруживаемые с первого взгляда. Среди более чем десятка типов, а поэтому и определений понятия **системы** выделяются динамические разновидности. Их обобщающее определение: саморазвивающаяся и саморегулирующаяся, определенным образом упорядоченная материально-энергетическая и/или информационная совокупность, существующая и управляемая как относительно единое целое за счет взаимодействия, распределения и перераспределения имеющихся, поступающих извне и продуцируемых этой совокупностью веществ, энергии, информации, и обеспечивающая преобладание внутренних связей (в том числе перемещений вещества, энергии и передачи информации) над внешними» (*[Реймерс,1992]*, стр. 43-44).

По утверждению А.А.Ляпунова, с которым невозможно не согласиться, «для развития теоретической биологии системный подход совершенно необходим, ... поскольку он позволяет обнаружить новые естественнонаучные проблемы, ... а также установить, что степень детальности разработки одних проблем в некотором смысле не соответствует степени детальности разработки других проблем» (см. *[Ляпунов,1980]*, стр. 239-240).

В свою очередь, П.К.Анохин отмечал: «внимание к системному подходу очень велико, хотя Р.Калман, П.Фалб и М.Арбиб в своей книге “Очерки по математической теории систем” (1971) назвали системный подход “областью увлекательной, но неупорядоченной”. Как мы увидим ниже, в какой-то степени с ними можно согласиться» *[Анохин,1973]*. От себя добавлю – безусловно, можно.

Для преодоления этого положения в рамки системного подхода было введено понятие самоорганизации. Так, по мнению Ю.И.Шемакина: «*Система* – это совокупность элементов, объединенных самоорганизацией, единством цели и функциональной целостностью» *[Шемакин,2003]*.

Б.Юдин детализирует: «*Самоорганизующаяся система* – сложная динамическая система, способная при изменении внешних или внутренних условий её функционирования и развития сохранять или совершенствовать свою организацию с учетом прошлого опыта... (примеры: живая клетка, организм, биологическая популяция, человеческий коллектив)» *[Юдин,1967]*.

В свое время Н.Ф.Реймерс провозгласил: «Системная парадигма доминирует в современной науке» (*[Реймерс,1992]*, стр. 43). В какой степени это «желаемое» можно уже принять за «действительное», читатель может судить сам.

Но надо признать, что происходящие в последние годы бурные, а зачастую – и катастрофические, процессы в жизненно важных сферах существования и деятельности Человечества (политика, экология, демография и т.п.) вновь инициировали повышенный интерес к *системному подходу* как к средству поиска научного решения проблем его развития и выживания. Так, И.В.Прангишвили пишет: «На пороге XXI века наука из-за недостаточности традиционных подходов формирует новую методологию научных исследований. Важное место в этой методологии займут, скорее всего, три фундаментальных и взаимно дополняющих друг друга подхода к научному познанию: системный, синергетический, информацион-

ный… **Системный подход** представляет собой совокупность методов, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, представив их в качестве систем со всеми сложными межэлементными взаимосвязями, взаимовлиянием элементов на систему и на окружающую среду, а также влиянием самой системы на её структурные элементы» (*[Прангишвили,2000]*, стр. 13, 22). Далее он предлагает рассматривать синергетический и информационный подходы «как дальнейшее развитие системного подхода, которое дает ученому новые возможности для исследования сложных объектов, процессов и явлений в природе и обществе» (*[там же]*, стр. 17).

Подобная расширенная трактовка системного подхода фактически определяет его как универсальный метод научного познания мира. И тогда возникает вопрос: все ли возможные его разновидности (направления, составные части etc.) в должной мере описаны, формализованы и используются в теории и на практике? До последнего времени к этим направлениям относили, помимо вышеуказанных, также когнитивный и гомеостатический подходы. Сегодня к ним, по-видимому, уже можно добавить и «*оптимизационный*» подход – точнее, подход, использующий для интерпретации приспособительного поведения систем «достаточно высокой сложности» предлагаемую в настоящей работе идеологию *иерархических поисковых оптимизационных систем* и процессов, в них происходящих.

### *3.1.2. Природа как система*

Из последнего определения самоорганизующейся системы, помимо прочего, также косвенно следует, что необходимыми элементами любой такой системы являются подсистема выработки целевого критерия её существования и развития (в частности, для принятия конкретных «решений» о желаемом направлении и масштабах «совершенствования своей организации») и подсистема реализации соответствующих действий. Для подтверждения наличия самой возможности «совершенствования (или экстремальности/максимальности) организации» можно, в свою очередь, привести хотя бы авторитетное мнение: «природа всегда осуществляет наилучшую из всех возможностей» (*[Аристотель,1981]*, стр.316).

Таким образом, в первом приближении *под **системой природы** будем понимать реально существующую во Вселенной и в определенном смысле целостную и единую сущность, характерную весьма высокой сложностью своей структуры и разнообразием форм **целевого приспособительного поведения** составляющих её иерархических подсистем*.

С этой точки зрения к иерархическим компонентам *подсистемы живого системы природы* (т.е. к системе живой природы) можно отнести, в частности, прокариотическую ячейку, сложную эвкариотическую клетку, многоклеточный организм, биогеоценоз («сложную» экологическую систему) и Биогеосферу в целом. Другие образования, не обладающие функцией определения целевых критериев собственного приспособительного поведения – мембранные структуры и органеллы, ткани и органы, популяции и парцеллы, биомы и природные зоны – являются, с моей точки зрения, лишь интегративными образованиями указанных выше *иерархических компонент подсистемы* живого, в которые они иерархически (каскадно, по принципу вложенных «матрёшек») входят. Тем самым я пересматриваю существо некоторых приведенных выше примеров из публикации *[Юдин,1967]*.

Возникновение таких подсистем в ходе *метаэволюции* живого (см. ниже, разделы 7 и 8), являющейся частью всеобщего процесса метаэволюции системы Природы/Вселенной/Мироздания/Универсума etc., не противоречит существующим представлениям. Так, Д.Кеньон напоминает о сделанном ещё в начале XX века Л.Хендерсоном выводе о том, что «Вселенная биоцентрична в том смысле, что *“свойства материи и направление космической эволюции… тесно связаны со структурой живых существ и их активностью [Henderson L.J. The Fitness of the Environment. N.Y. Macmillan, 1913, C.312]”*» (*[Кеньон,1975]*, стр.110). Основной же тезис этой статьи Д.Кеньона: «Наиболее распространенная реакционноспособная материя космоса развивалась спонтанно в направлении живых систем» *[Кеньон,1975]*.

Подобные же интерпретации можно усмотреть и при анализе многочисленных работ, посвященных так называемому «антропному принципу», утверждающему, что существование того или иного закона природы связано с возможностью существования человека (см. напр., *[Белавин,Курдюмов,Князева, 1995], [Астрономия и современная картина мира,1996]*). Хотя, возможно, понятие «человек», выступая здесь в качестве биообъекта, близкого к одному из «идеальных» в иерархии, просто подменяет именно это более общее понятие, которое, в действительности, и лежит в основе данной закономерности.

## *3.2. Жизнь*

### *3.2.1. Терминология и обсуждение*

Хотя проблема определения того, «что такое жизнь?» излагается во множестве научных трудов, написанных как биологами, так и физиками, химиками, философами, в рамках темы настоящей работы рассматриваются варианты, предлагаемые с информатико-кибернетических позиций. Но перед этим приведу несколько более общих формулировок.

Первая из них представляется классической: согласно определению Ф.Энгельса, «***жизнь*** есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка» *[Энгельс,1969]*. Даже с учетом семантического недоразумения, на которое указал С.Э.Шноль (исторически сложившееся отождествление терминов «протеин» {первичный, изначальный} и «белок», в результате которого на белок была «возложена ответственность» за «сущность жизни», и он, – а не протеин, – фигурирует в определении Ф.Энгельса) *[Шноль,1979,1984]*, это определение существенным образом опирается на материальный субстрат, что выглядит не вполне оправданным (вообще говоря, излишним).

И действительно, недавно переизданный большой энциклопедический словарь «Биология» указывает, что «в самом общем смысле ***жизнь*** можно определить как активное, идущее с затратой полученной извне энергии поддержание и самовоспроизведение специфической структуры» *[Биология,1999]*. Данное определение уже свободно от указаний на конкретику реализации материальной основы жизни, но в чем состоит «специфичность» структуры, осталось неразъясненным.

Н.Пири предлагал вообще не давать определения этому «качеству»: «Я уже высказывал соображение *[N.W.Pirie. The Meaninglessness of the Terms Life and Living // Perspectives in Biochemistry. Needham J., Green D. (Eds). Cambridge Univ. Press, 1937]*, что даже для современных организмов и систем невозможно провести строгое разделение на живое и неживое. Каждый из предлагавшихся критериев одновременно исключает нечто, что по эстетическим соображениям мы бы хотели назвать живым, и включает нечто, что мы не хотим так назвать. Более удовлетворительных результатов можно было бы достичь, если считать, что живой организм должен обладать некоторой произвольной совокупностью качеств, но на практике это определение было почти таким же громоздким, как перечень объектов, которые мы намереваемся называть живыми. Такой подход был бы особенно плохо применим к простым системам, где он приобретает наибольший интерес. По-видимому, лучше признать, что жизнь является качеством, не поддающимся определению, и представляет собой лишь выражение нашего склада ума по отношению к системе (…) Даже если не представляется возможным утверждать, что система с определенной *активностью* (курсив мой – С.Г.) является живой, то всё же можно сказать, что для жизни необходимы и специфичны определенные химические вещества или процессы» (*[Пири,1959]*, стр.81). Правда, далее, уже на стр. 85, он все-таки дает жизни некоторое определение: «Жизнь в настоящее время представляет собой результат двух совершенно не зависимых друг от друга процессов: случайного возникновения определенных свойств в небольших ограниченных участках и интеграции этих качеств в механизм, приспособленный к существованию в наиболее распространенной среде» *[там же]*. С двумя последними позициями трудно не согласиться; что же касается «независимости этих процессов», то это предположение в данном контексте представляется избыточным. Другое дело, что их глубокая (с позиций предлагаемой концепции) внутренняя связь сразу не бросается в глаза – что обусловлено, прежде всего, громадным несоответствием темпов соответствующих процессов. Но в любом случае, определение Н.Пири – с учетом его давности – можно считать весьма близким к информатико-кибернетической трактовке жизни.

Э.М.Галимов, в свою очередь, также указывает на важную роль ограничений в определении жизни: «Жизнь, как это ни печально звучит, принципиально связана с ограничением свободы» *[Галимов,2002, стр.73]*. Отмечу, что именно эту функцию в рамках предлагаемой концепции и выполняют введенные выше критериальные ограничения ( $H, G$ ) и *системная память*.

Посмотрим теперь, как же определяют жизнь собственно с информатико-кибернетических позиций.

В 1963 году А.А.Ляпунов для этого привлек понятия «информации» и «устойчивости»: «***жизнь*** можно охарактеризовать как высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул» (см. *[Ляпунов,1980]*, стр. 211).

Н.М.Амосов использовал понятие «программы»: «***жизнь*** можно рассматривать как изменение систем по времени и пространстве сообразно их программам (роста, размножения, движения, обмена веществ с окружающим миром, приспособления – способности изменять частные программы при изменяющихся внешних воздействиях, и др.)» (*[Амосов,1964]*, стр. 32).

В.И.Корогодин полагает, что ***жизнь*** – «форма существования информации и кодируемых ею операторов, обеспечивающих возможность воспроизведения этой информации в подходящих для этого условиях внешней среды» (*[Корогодин,1991]*, стр. 179). При этом он утверждает, что важнейшее свойство живого, «объединяющее все многообразие живых существ… – способность совершать целенаправленные действия» (*[Корогодин,Корогодина,2000]*, стр. 7).

М.Карпенко дает более развернутое определение, с акцентом на самоорганизацию и адаптацию: «***живой*** может считаться способная эволюционно самоорганизовываться, адаптивно и агрессивно взаимодействующая с окружающей средой и повышающая свою структурную негэнтропию система, внутренние процессы в которой протекают кооперативно, а сочетание элементов подчиняется правилу сверхаддитивного нелинейного сложения» (*[Карпенко,1992]*, стр. 286).

Таким образом, можно констатировать определенное движение в направлении предложенного выше определения жизни как формы существования фрагментов системы природы, характеризующихся обладанием *системной памятью*. С этой точки зрения интересен (пусть и риторический) вопрос, задаваемый Л.С.Юдасиным: «Сегодня уже не вызывает сомнений, что клетки с ядрами начали расселяться по Земле примерно 1,5 млрд. лет назад (вопрос о конкретных сроках *возникновения* и начала *расселения* сложных клеток будет рассмотрен ниже, в подпункте 8.6.10.2 – С.Г.). Именно к тому времени они стали многочисленными (…) Но вот что все-таки странно. Среди безъядерных прокариот ведь тоже существовали и любители кислорода, и даже те, что без него не могли жить. Конечно, они использовали более примитивный механизм расщепления глюкозы и получали меньше энергии. Но ведь использовали и получали! Разве на них давил пресс какого-то дефицита? Что вынудило живую природу прибегнуть к эукариотным сложностям? Или, в самом деле, двигатель эволюции живого – фатальное стремление самих организмов к усовершенствованию?» *[Юдасин]*.

Именно это, трактуя «усовершенствование» как возникновение новых «высших» иерархических уровней в супрасистеме живого, сопровождающееся усложнением уже существующих уровней (вложенных в эти новые), и утверждается в рамках концепции, предлагаемой в настоящей монографии – хотя «фатальным» я бы это не называл. И в этой связи требует своего более подробного рассмотрения не раз упоминаемая выше *активность* живого.

### *3.2.2. Активность*

Словарь дает следующие определения активности:

«**Активность** – 1) “причинность причины” (И.Кант); 2) деятельное состояние живых организмов как условие их существования в мире. Активное существо не просто пребывает в движении, оно содержит в себе источник своего собственного движения, и этот источник воспроизводится в ходе самого движения. Речь при этом может идти о восстановлении энергии, структуры, свойств, процессов и функций живого существа, его места в мире, вообще говоря, – о воспроизведении любых измерений его жизни, если только они рассматриваются как существенные и неотъемлемые. Имея в виду это особое качество – способность к самодвижению, в ходе которого индивид воспроизводит себя, – говорят, что он выступает как *субъект* А. **Активность поисковая** – поведение, направленное на изменение ситуации (или отношения к ней) при отсутствии определенного прогноза его результатов, но при постоянном учете степени его эффективности. А.п. – обязательный компонент многих типов поведения» *[Краткий психологический словарь,1998 (2003)]*.

Приведу дополнительно к этому точки зрения на активность ряда специалистов. Так, Н.Горовиц указал: «Я считаю самовоспроизведение и обмен веществ важными, но недостаточными критериями наличия жизни; система должна быть наделена *импульсом к развитию* (курсив мой – С.Г.)… Жизнь возникла в форме индивидуальных молекул в сложной полимолекулярной среде» *[Горовиц,1959]*. Этот «импульс к развитию», с моей точки зрения, весьма близок к представлению об активности живого.

Н.А.Бернштейн, опираясь на учение А.А.Ухтомского о доминанте поведения, сформулировал важное положение: «Активность выступает как наиболее общая всеохватывающая характеристика живых организмов и систем» *[Бернштейн,1966]*, см. также *[Разумовский,1997]*.

В.С.Ротенберг рассматривает поисковую активность как основной фактор, дифференцирующий разные типы поведения и, тем самым, влияющий на устойчивость организма: «**Поисковая активность** – активность, направленная на изменение ситуации (или отношения к ней) при отсутствии определенного прогноза результатов этой активности, но при постоянном учете достигнутых результатов. Очевидна роль поисковой активности при агрессии и бегстве, ибо при таком поведении предпринимается попытка преодолеть стрессирующую ситуацию, но нет априорной уверенности в успехе попытки. У человека поиск проявляется в форме планирования, фантазии и других форм проявления психической активности (...) Есть веские основания полагать, что её выраженность зависит от содержания в мозгу биологически активных веществ – катехоламинов (особенно норадреналина) – и от чувствительности некоторых мозговых структур к этим веществам» (*[Ротенберг,1985]*, стр. 86, 90). Со сделанным им выводом, что «концепция поисковой активности позволяет связать в единую кибернетическую систему изменения, происходящие в организме на самых различных уровнях – от психологического до биохимического, и по-новому подойти ко многим старым проблемам» (*[там же]*, стр. 91), трудно не согласиться.

А.П.Назаретян высказал предположение, что «**потребность (нужда) в активности** (выделено автором – С.Г.) 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 уравновешивающим фактором,… и о биологической активности – как форме движения» (*[Назаретян,1986]*, стр. 162-163). Отмечу кстати, что интерпретация упомянутых «действия» и «противодействия» как поисковых *рысканий* в ходе оптимизационного процесса просто напрашивается.

Е.Б.Сахонько пишет: «...главная особенность живого характеризует приспособление как активный процесс, а не как пассивное следование за изменениями внешней среды» *[Сахонько,1988]*. В свою очередь, рассматривая освоение внешнего мира как основную функцию живого, А.Ц.Торосян подчеркивает её «активный целенаправленный характер» *[Торосян,1994]*.

По мнению Ю.В.Сачкова, «…активность живых систем упорядочена. Проявление её действий определенным образом канализируется (! – С.Г.), оно не хаотично… Активность, свойственная живым системам, служит делу их созидания» (*[Сачков,2002]*, стр.162-163).

М.И.Сетров обращает внимание на связь активности с энергетикой: «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 её 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]*, стр. 43-44).

В соответствии с введенным в разделе 2 ПОСТУЛАТОМ 1, активность является атрибутом не столько живого, сколько системы природы в целом. Но наиболее ярко и наглядно – с точки зрения человека – она выражена именно в живом, что и объясняет, почему её обычно с ним и связывают. Проявления активности объектов уровня атомов и ниже в иерархии природы происходят, в сравнении с характерными временами жизнедеятельности человека, слишком быстро, а объектов уровня звездных систем и выше – слишком медленно. Этим объясняется относительная редкость упоминания данного термина в связи с их поведением (которое, кстати, и приспособительным-то не называют…). Тем не менее, можно констатировать, что важность понятия активности в контексте интерпретации поведения системы живого в наши дни сомнению уже не подвергается, хотя оно ещё и не стало хрестоматийным. Для достижения последнего это понятие следует, как представляется, увязать в некий единый «узел» описывающих такое поведение понятий как его имманентную часть. То есть рассматривать его как *активность поискового поведения супрасистемы природы на всех уровнях её иерархии* (что и предлагается в рамках настоящей концепции).

### *3.2.3. О начале жизни*

Широко распространена интерпретация начала жизни на Земле как момента появления нуклеиновых кислот, способных к воспроизводству белков. Например, Ф.Крик пишет: «Почти все современные теории и экспериментальные исследования по происхождению жизни за исходную точку принимают синтез либо нуклеиновой кислоты, либо белка, или же того и другого вместе» (*[Крик,2002]*, стр. 38). Но подобный подход в рамках концепции супраоптимизации живого представляется не вполне адекватным.

Более подробно этот вопрос будет рассмотрен ниже, в разделе 8, сейчас же приведу лишь примеры более широкого взгляда на эту проблему. Это, прежде всего, несколько высказываний В.И.Вернадского: «Начала жизни, т.е. начала биологического времени, мы не знаем и нигде указаний на его существование не видим... Никогда в течение всех известных геологических периодов не было никаких следов абиогенеза, т.е. непосредственного *создания живого организма из мертвой, косной материи* (курсив цитируемого автора – С.Г.). Никогда в течение всего геологического времени не наблюдались азойные, т.е. лишенные жизни, геологические эпохи» (*[Вернадский,1975а]*, стр. 27, 71). «Неизвестно, является ли жизнь только земным, планетным явлением, или же она должна быть признана космическим выражением реальности, каким являются пространство-время, материя и энергия... Жизнь, взятая как единое целое, рассматривается при этом не как совокупность живых организмов, живых естественных тел, – а как особое проявление *чего-то* (курсив цитируемого автора – С.Г.), в природе ярко выявленное прежде всего в живых организмах, но может быть не только в них имеющее место... Представления о жизни, не связанные с живым организмом или с его совокупностями, или косвенно с ними связанные, имеют тем более право на существование, что диапазон жизненных проявлений живых существ чрезвычайно велик и что все наши знания неразрывно связаны с наиболее глубокой и мощной нервной организацией представителя жизни Homo sapiens» (*[Вернадский,1975б]*, стр. 112, 124, 125).

Близкую к этим точку зрения формулирует П.Тейар де Шарден: «в природе нет рубежа, отмечающего начало жизни» (*[Тейар де Шарден,1987]*, стр. 71).

Существуют и иные подходы. Так, Дж.Кеосян (Морская биологическая лаборатория, Вудс Хоул, Массачусетс, США) пишет: «Произошла ли жизнь из неодушевленной материи более или менее внезапно (? – С.Г.) или она развивалась из неодушевленной материи постепенно через определенные стадии – это фундаментальный вопрос. В первом случае точное определение жизни становится предметом первостепенной важности, как для экспериментальной цели, так и в качестве идентифицирующего кри-

терия при попытках создания жизни искусственным путем. Во втором случае ни определения, ни критерии жизни не имеют особого значения, так как *отсутствует какая-либо единая цель* (? курсив мой – С.Г.). В этом случае цель (может быть, имеется в виду задача исследования? – С.Г.) должна быть предметом поиска сначала спонтанного образования многомолекулярных систем, затем исследования их свойств и, наконец, выяснения физических и химических механизмов, включавшихся при продвижении каждой отдельной стадии к более высокому уровню организации. При таком подходе представляется бессмысленным проводить воображаемую черту между двумя уровнями организации и представлять дело так, что все системы, лежащие ниже этой черты, неодушевленные, а выше живые. Неопределенность терминов «жизнь» и «живое» отмечал ещё Пири *[N.W.Pirie. The Meaninglessness of the Terms Life and Living // Perspectives in Biochemistry. Needham J., Green D. (Eds). Cambridge Univ. Press, 1937]*, хотя он и исходил из других предпосылок» (*[Кеосян,1975]*, стр. 118). Не оспаривая в целом оправданность исходной постановки вопроса (хотя не вполне ясно, что такое «более или менее внезапно», в какой шкале времени это можно оценить?), я не в состоянии понять, на чем основано утверждение об отсутствии у жизни *«какой-либо единой цели»*.

В свою очередь, Н.Н.Моисеев, характеризуя «жизнь» как «первопонятие», отмечает: «Я исхожу из предположения о том, что жизнь возникла в процессе эволюции Универсума. Такая точка зрения далеко не единственная: например, Сванте Аррениус и многие его последователи считали, что жизнь во Вселенной существует вечно» ([*Моисеев,2001]*, стр. 43).

Предлагаемая концепция позволяет совместить обе эти точки зрения, как это ни странно на первый взгляд! С её позиции вполне логично, что жизнь, являясь имманентной составляющей природы, *не может возникать как явление* (поскольку в этой своей ипостаси – *в потенции* – она существует *всегда*), и она при этом *может возникать как проявление* этого явления в том или ином конкретном месте Вселенной/Мироздания/Универсума/системы природы etc., с подходящими для этого условиями.

## *3.3. Теоретическая биология, кибернетика, информатика…*

### *3.3.1. Теоретическая биология*

В свое время А.А.Ляпунов так определил её структуру: «Теоретическая биология включает в себя две части. Первая состоит в выяснении физико-химической основы жизненных процессов: из каких физико-химических процессов складываются основные акты жизнедеятельности. В настоящее время (впервые опубликовано в 1971 г. – С.Г.) эта часть теоретической биологии теснейшим образом связана с молекулярной биологией и биохимией, т.к. именно эти области естествознания занимаются расшифровкой основных актов жизнедеятельности с физико-химических позиций. Однако для понимания течения процессов жизнедеятельности в целом необходимо представление о том, как протекают некоторые элементарные акты, как формируется глобальное течение процессов жизнедеятельности из этих элементарных актов, повторяющихся в некотором строго определенном режиме. Именно в этом состоит вторая, кибернетическая часть теоретической биологии» (*[Ляпунов,1980]*, стр. 221). Это указание А.А.Ляпунова на теснейшую связь кибернетики и теоретической биологии, с моей точки зрения, весьма важно.

Хотя, уже по мнению Н.В.Тимофеева-Ресовского, «теоретической биологии сегодня (т.е. в 1980 г. – С.Г.) нет – или не было до самого последнего времени, – потому что нет (или не было до самого последнего времени) общих естественноисторических биологических принципов, сравнимых с теми, которые уже давно – начиная с XVIII в. – существуют в физике. Сейчас можно говорить, по-видимому, лишь о двух таких общих принципах в биологии. Первым таким принципом (известным уже более ста лет) является, несомненно, принцип естественного отбора, ... вторым – принцип конвариантной редупликации (т.е. редупликации живых частиц, включающей наследственные вариации) дискретных кодов наследственной информации, передаваемых от поколения к поколению» (*[Тимофеев-Ресовский,1984]*, стр.21-22). В качестве претендента на новый третий фундаментальный биологический принцип Н.В.Тимофеев-Ресовский выдвинул проблему «так называемой прогрессивной эволюции. Пока нет не только строгого или точного, но даже мало-мальски приемлемого, разумного, логичного понятия прогрессивной эволюции. Биологи до сих пор не удосужились сформулировать, что же это такое... Для решения проблемы, ведет ли естественный отбор, продолжающийся практически бесконечно долго, обязательно к прогрессивной эволюции или не ведет (хочется думать, что ведет), на мой взгляд, нужен замечательный математик или даже группа замечательных математиков, являющихся в то же время глубокими мыслителями. Видимо, нужно найти какие-то математические методы, с помощью которых можно было бы решить этот вопрос более или менее точно. От его решения зависит, получим ли мы третий естественнонаучный принцип в биологии, который можно было бы для построения теоретической биологии. Я принимал деятельное участие в формулировке второго принципа. Что же касается третьего принципа, считаю, что сегодня никто не может дать серьезный ответ на вопрос, ведет ли отбор автоматически к прогрессивной эволюции» (*[там же]*, стр. 22-23). И затем Н.В.Тимофеев-Ресовский заключает: «Нам, биологам, следует строго и точно сформулировать (определить) ряд понятий, которыми предстоит воспользоваться при формулировании общих естественноисторических принципов, необходимых для построения теоретиче-

ской биологии. После этого наступит период, когда придется придумывать самые различные общие схемы построения возможной теоретической биологии – науки, которая была бы не просто “общей биологией”. Потребуется ли при этом формулировка других (кроме трех названных выше) общих биологических принципов, покажет будущее. Однако уже сейчас можно предвидеть, что первой задачей теоретической биологии станет оценка эволюционной теории. Если она будет решена, биологам откроется возможность рассмотреть и понять, какие условия, какие дополнительные воздействия направляют и формируют прогрессивную эволюцию, создаваемую естественным отбором» (*[там же]*, стр. 24). Сказанное, безусловно, заставляет задуматься над этим, фактически, завещанием классика...

Но существует и иная точка зрения. Так, С.Э.Шноль пишет: «…в последнее время (конец 70-х гг. – С.Г.) вновь стало “признаком хорошего тона” говорить о теоретической биологии в будущем времени как о дисциплине, которую ещё предстоит создать. Доля истины здесь, конечно, есть. Теоретическую биологию, как и любую другую теоретическую науку – теоретическую физику, например, – отнюдь нельзя считать завершенной. Однако она существует уже много лет и сейчас не стоит давать названия “на пути к теоретической биологии” книгам, посвященным развитию теоретической биологии» (*[Шноль,1979]*, стр. 13).

Согласовать эти точки зрения можно, предположив, что их авторы по-разному понимают, что же такое «теоретическая биология». И действительно, в той же работе, двумя страницами далее, С.Э.Шноль, несмотря на только что провозглашенное утверждение, дает рецепт её *построения*: «Теоретическую биологию можно построить лишь при условии выяснения *способа, путей эволюционного становления* (курсив мой – С.Г.) всех особенностей живых организмов, в том числе становления особенностей химических и физических свойств молекул, составляющих основу живых организмов» (*[там же]*, стр. 15).

Таким образом, задача выяснения *путей эволюции* живого выдвигается на первый план. В этой связи интересна позиция «не-биолога» Н.Н.Моисеева: «Редупликация, метаболизм, возникновение и устойчивость неравновесных с точки зрения термодинамики структур — все это укладывается в более или менее понятные схемы, и мы сталкиваемся с этими процессами уже на предбиологическом уровне развития вещества. Работы М.Эйгена и его последователей уже наметили определенные пути их математического моделирования. Что же касается механизмов обратных связей (будут подробнее рассмотрены ниже, в подпункте *3.3.2.3. “Об использовании понятия «положительная обратная связь» в биологии”* – С.Г.) обоих типов (которые необходимо присущи всему живому), то их возникновение пока остается для нас «тайной за семью печатями». Это ведь такое изобретение природы, для понимания которого у нас ещё нет никаких аналогий. Мы пока ещё очень далеки от того, чтобы представить себе модель процесса, который мог бы привести к появлению какого-либо подобного механизма. Следуя терминологии В.И.Вернадского, факт существования сложных механизмов обратной связи следовало бы назвать главным «эмпирическим обобщением» в той науке, которая занимается изучением развития Земли и жизни на Земле. В процессе естественной эволюции планеты на ней возникли живые структуры, обладающие механизмами обратной связи, — это мы можем только констатировать! Сегодня часто употребляют выражение «теоретическая биология». В попытках расшифровать его говорят о необходимости создания теоретической биологии (на манер теоретической физики) и нередко сходятся на том, что такой науки пока ещё нет. И это справедливо. Объем накопленного эмпирического материала действительно требует создания стройной теоретической системы, связанной единым становым хребтом, который подобен законам Ньютона в классической механике. Но такой фундаментальной основы в биологии пока ещё нет. Поэтому мне представляется, что альтернативой царствующей эмпирии и разрозненным концепциям и теориям, являющимся результатом озарения гениев (а не следствиями дедуктивного анализа), суждено будет сделаться модели, описывающей возникновение обратных связей. На этот путь нам указывает и опыт последнего десятилетия – М.Эйгену удалось построить модель редупликации биологических макромолекул. Если бы удалось сделать следующий шаг и построить нечто подобное для объяснения отрицательных обратных связей, сохраняющих гомеостазис, и положительных обратных связей, которые обеспечивают рост эффективности использования внешних энергии и вещества, то мы могли бы заменить сформулированное выше «эмпирическое обобщение» стройной логической схемой и тем самым заложить фундамент теоретической биологии» (*[Моисеев,1987]*, стр. 72-73).

Выскажу осторожную надежду, что сейчас мы находимся в фазе совершения именно такого шага…

### *3.3.2. Кибернетика, или теория управления*

Предложения использовать в биологии идеи теории управления, или кибернетики, лежат в самой основе последней. Так, Н.Винер назвал свою книгу «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» *[Wiener,1948(1958)]*. А.А.Ляпунов пишет: «***Управление***, основанное на передаче информации, является составной частью всякой жизнедеятельности, более того, управление можно объявить характеристическим свойством жизни в широком смысле» (см. *[Ляпунов,1980]*, стр.208); и далее: «…кибернетический подход к изучению процессов жизнедеятельности в известном смысле дополняет описательно-биологический и молекулярно-биохимический подход, т.к. точное описание процессов ***управления***, и только оно, позволяет судить о том, достаточно ли полно выявлены элементарные физи-

ко-химические жизненные акты для объяснения целостной картины, наблюдаемой в биологии» (*[там же]*, стр. 220).

И.И.Шмальгаузен отмечает, что «…способность к авторегуляции жизненных проявлений – наиболее характерная особенность всех живых существ, причем регуляторные системы организмов – наиболее сложные, наиболее совершенные кибернетические устройства» (*[Шмальгаузен,1968]*, стр.21).

Для своей (к сожалению, незаконченной) книги «Кибернетика как учение о саморазвитии живых существ», И.И.Шмальгаузен успел подготовить тезисы, среди которых, с моей точки зрения, особый интерес представляют следующие:

«**Механизм регуляции**. Цикл (а **не** просто реакция) – действие с **контролем** результата. Организм – кибернетическая система.

Многоконтурные циклы. Взаимодействие. Иерархия регулирующих циклов.

**Новые представления в биологии**: борьба за существование = **контроль** (не просто рефлекс, а элементарное действие с проверкой: не индукция, эвокация и т.п., а **цикл управления**) (не замкнутый цикл обратимого процесса, а развитие по спирали; обучение)...

**Задача** – разработка **теории регулирующих систем**. В биологии задача шире: теория **саморазвития** систем.

Для использования в технике.

Саморазвитие биологических систем на основе **внутренних** противоречий (в системах). В понятие самодвижения входит: самоподдержание, самовосстановление, самовоспроизведение.

В применении к биологии задача ***кибернетики*** – построение общей **теории регуляции, т.е. самодвижения и саморазвития биологических систем**». Выполнение этой задачи возможно лишь на основе изучения внутренних противоречий и взаимосвязей внутри этих систем...

Всякая гипотеза является обобщенной **моделью** некоторого явления.

Моделирование и в математическом описании» (см. *[Шмальгаузен,1968]*, стр. 217-218) (всюду полужирный шрифт использован цитируемым автором).

Тем не менее и к большому сожалению, для значительной части биологов кибернетическое понятие «управления» оставалось в течение последнего полувека малознакомым и чуждым. Этот печальный вывод можно продемонстрировать даже на примерах некоторых публикаций. Это и крайне осторожная реплика Г.Франка на представительной конференции 1957 года, явно не рассчитывающего на восторженную реакцию аудитории при упоминании о возможном применении теории автоматических регулирующих систем в биологии: «Говоря о возникновении самоподдерживающихся химических процессов и соответствующих им структур в биопоэзе, необходимо учитывать уже для довольно ранней стадии появления протоорганизмов структурную подвижность, лежащую в основе не только роста и развития организмов, но и в основе их функциональной приспособленности к быстрым изменениям внешней среды. Следует задать вопрос, какую же роль играет это, по-видимому, довольно универсальное свойство подвижности живых структур. Здесь чисто условно я хотел бы обратиться к одной аналогии, отчетливо сознавая некоторую рискованность такой постановки вопроса. Современная техника широко разработала теорию автоматических регулирующих систем, настраивающих сложные агрегаты в каждый данный момент на наивыгоднейшие условия режима, применительно к изменяющимся обстоятельствам. Такого рода регулировка осуществляется на основе принципа так называемых обратных связей внутри функционирующей системы. Не является ли взаимозависимость обменных процессов и структурной организации живого некоторым подобием такой обратной связи, образующей тот замечательный регулирующий механизм, который свойствен живому?» *[Франк,1959]*. Это и ошибочный перевод английского термина control (вместо верного «управление» переведено «контроль») начиная от заглавия и далее всюду по тексту статьи М.Митца *[Митц,1975]*, что явно бросается в глаза из контекста работы, но не было замечено биологами – уважаемыми научными редакторами сборника…

На это же обстоятельство обращает внимание и Д.С.Чернавский: «Кибернетика – наука об управлении – появилась как обобщение опыта управления в технике. Отсюда были заимствованы такие понятия, как положительная и отрицательная обратная связь. Благодаря усилиям доктора Эшби (медика по образованию) эти понятия были внедрены в медицину и на их основе создана концепция гомеостаза. Явления, составляющие суть самоорганизации, естественно вписывались в эту концепцию и были восприняты с энтузиазмом. Примерно тогда же доктор Эшби выдвинул лозунг (или парадигму): в кибернетике математический аппарат вторичен. Иными словами, кибернетиком может считаться человек, не владеющий математикой. На первых порах эта идея сильно расширила круг кибернетиков и способствовала её популярности. Однако вскоре выяснилось, что доктор Эшби оказал науке медвежью услугу. В кибернетику ринулись толпы людей, которые не владели не только математикой, но и никакой другой наукой. Был утерян критерий уровня науки кибернетики, её рейтинг и популярность понизились. На смену ей пришла синергетика. По существу предметом синергетики служат те же явления, что и в самоорганизации и кибернетике. Главное отличие в том, что в синергетике владение математическим аппаратом (теорией динамических систем, математическим моделированием) считается необходимым условием» *[Чернавский,2001]*. Я всё же думаю, что последнее должно выполняться и для кибернетики. Но не надо забы-

вать, что, как указывает Ю.И.Журавлев, «…со времен Ньютона наше точное знание о мире все ещё остается тонкой пленкой на поверхности океана» *[Журавлев Ю.,2003]*.

### *3.3.2.1. О моделях и моделировании в биологии*

В известном смысле *познание* можно рассматривать как моделирование *[Амосов,1964]*. «Любая гипотеза – это *модель*» (*[Айламазян,Стась,1989]*, стр. 51). Трудно выразиться короче и эффектнее… Но для эффективного понимания того, что же такое модель, лучше обратиться к более развернутым определениям.

Например: «Под моделью будем понимать упрощенное, если угодно, “упакованное” знание, несущее вполне определенную, ограниченную информацию о предмете (явлении), отражающее те или иные его отдельные свойства. Модель можно рассматривать как специальную форму кодирования информации» (*[Моисеев,1987]*, стр. 166).

Другой пример: «Моделирование не представляет специфического метода кибернетики. Сознательно или бессознательно оно всегда применялось при описании явлений природы. Научное описание никогда не охватывает **всех** деталей, оно всегда выделяет существенные элементы структур и связей при повторном наблюдении сходных явлений. Поэтому такое описание содержит всегда несколько обобщенную модель явления. Любая математическая формула содержит модель действия, отображающего естественные процессы. Кибернетические модели хорошо отображают многие биологические процессы и, прежде всего различные формы регуляции, включая адаптацию (приспособление) организмов к окружающей среде. Вся жизнедеятельность основана на регуляции взаимоотношения частей организма между собой, в целом организме и в его связях с внешней средой. Сложнейшие регуляции характеризуют развитие особи любого организма из его зачатка (яйца, почки и т.п.). Регулируется и состав высших биологических систем – популяций, биоценозов и, наконец, всей биосферы в целом. Эта регуляция осуществляется всегда внутренними силами данной биологической системы в её взаимодействии с окружающей средой. Регуляция, осуществленная в ряду поколений, ведет к историческому преобразованию биологических систем и означает их эволюцию. Во всех этих случаях **кибернетические модели** регуляции позволяют гораздо яснее представить все наиболее существенное в процессах биологической регуляции. Они позволяют вскрыть не изученные ещё звенья в цепи этих процессов и имеют, таким образом, бесспорно познавательное значение в физиологии, в эмбриологии и в эволюционном учении» (*[Шмальгаузен,1968]*, стр. 202) (полужирный шрифт всюду выделен цитируемым автором).

Ещё пример: «Особенность простых систем – в практически взаимной независимости их свойств, позволяющей исследовать каждое из них в отдельности в условиях классического лабораторного эксперимента; особенность сложных систем заключается в существенной взаимосвязи их свойств (иногда она даже применяется как определение сложной системы). Будем считать систему сложной, если она состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, каждый из которых может быть представлен в виде системы... Обычное для теории простых систем требование адекватности модели оригиналу для моделей сложных систем приводит к непомерному росту их размерности, приводящему к их неосуществимости. Ситуация для построения теории кажется безнадежной, она действительно оказывается таковой, если не произвести некоторого разумного отступления от непомерных требований адекватности теории и вместе с тем не отступать от требований её объективности. Математические модели любых систем могут быть двух типов – эмпирические и теоретические. Эмпирические модели – это математические выражения, аппроксимирующие (с использованием тех или иных критериев приближения) экспериментальные данные о зависимости параметров состояния системы от значений параметров влияющих на них факторов. Для эмпирических математических моделей не требуется получения никаких представлений о строении и внутреннем механизме связей в системе. Вместе с тем, задача о нахождении математического выражения эмпирической модели по заданному массиву наблюдений в пределах выбранной точности описания явления не однозначна. Существует бесконечное множество математических выражений, аппроксимирующих в пределах данной точности одни и те же опытные данные о зависимости параметров. Теоретические модели систем строятся на основании синтеза обобщенных представлений об отдельных слагающих их процессах и явлениях, основываясь на фундаментальных законах, описывающих поведение вещества, энергии, информации. Теоретическая модель описывает абстрактную систему, и для первоначального вывода её соотношений не требуется данных о наблюдениях за параметрами конкретной системы. Модель строится на основе обобщения априорных представлений о структуре системы и механизма связей между слагающими её элементами» (*[Айламазян,Стась,1989]*, стр. 52).

В целом можно считать, что моделирование системы природы стоит в центре внимания современной науки, причем представляет собой крупную научную проблему. Последнее определяется, главным образом, необходимостью учета в таких моделях не только огромного числа переменных, но и отражения целого спектра характерных времен изменения этих переменных. Естественно, что для сокращения размерности задачи и выбора лишь одного основного темпа времени (временн*о*го шага) «…моделирование необходимо предполагает использование абстрагирования и идеализации. Отображая существенные (с точки зрения цели исследования) свойства оригинала и отвлекаясь от несущест-

венного, модель выступает как специфическая форма реализации абстракции, т.е. как некоторый абстрактный идеализированный объект» *[Бирюков и др.,БСЭ,1974]*.

Но именно разделение свойств объекта моделирования на «существенные» и «несущественные» приводит к далеко идущим последствиям! Например, абстрагируясь при изучении поведения отдельного организма от процессов экосистемного и биосферного уровней, т.е. заменяя параметры этих медленных изменений константами, не закладываем ли мы непреодолимые трудности при дальнейшей интерпретации получаемых модельных результатов для описания таких – медленных – процессов эволюции организмов?

Подобные абстрагирование и идеализацию часто обусловливают необходимостью программно-аппаратной реализации сложной модели на базе тех или иных конкретных технических средств (вычислительной техники), хотя и постоянно развивающихся, но, тем не менее, имеющих в каждый момент «исторического» времени свой предел возможностей. Я же стою на той точке зрения, что специалист-разработчик в модели той или иной подсистемы живого должен учитывать *все* факторы, доступные для исследования в настоящий момент. А проблема *реализации* вычислительного процесса при моделировании – это задача специалистов в области разработки соответствующих технических и программных средств вычислительной техники. Как я постараюсь показать ниже, наиболее перспективными для подобных целей являются средства, использующие принцип *распараллеливания* вычислительных процессов.

Следующим же после моделирования этапом продвижения по пути познания, по-видимому, можно считать этап создания специального терминологического языка, адекватно отражающего наиболее важные особенности познаваемого объекта, и способного генерировать нетривиальные прогнозы (т.е. обладающего предсказательными свойствами) *[Гринченко,1999а;2000б]*.

### *3.3.2.2. О гомеостазе и гомеостатике*

По области своего приложения оптимизационный подход близок к гомеостатическому подходу. Применительно к последнему высказывается мнение, что «механизмы гомеостаза и *гомеостатическое управление* лежат в основе мироздания и охватывают не только живые организмы и экономические, экологические, социальные системы, но и неживые, и даже искусственные (созданные человеком) системы» *[Прангишвили,2000]*. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Под *гомеостазом* обычно понимают, в соответствии с формулой К.Бернара, «сохранение *постоянства внутренней среды* организма при наличии возмущений во внешней среде» *[Новосельцев,1978]*. Иногда о нем говорят как о *динамическом* постоянстве жизненно важных функций и параметров системы. При этом в качестве модели механизма возникновения и поддержания гомеостаза обычно, вслед за Н.Винером и Л. фон Берталанфи, рассматривают базисный для систем автоматического регулирования контур отрицательной обратной связи с задающим сигналом (*уставкой*) *[Новосельцев,1978,1989; Бахур]*. Именно последнее и определяет основной недостаток такой модели: неясность вопроса, из каких соображений должна задаваться уставка, особенно при реализации изменчивости состояния организма в разных условиях.

В более общих терминах механизм реализации гомеостаза также трактуют и как механизм управления противоречиями: «Идея противоречия как объекта управления стала фундаментальным основанием в гомеостатике как науке о гармонии и дисгармонии в живых, социальных, экологических, технических и других целостностях. Согласно её утверждениям, поддержание гомеостаза в управляемом процессе обеспечивается за счет некоторого механизма, названного гомеостатом или гомеостатической системой, которая структурно устроена в виде треугольника» *[Горский и др.,1999]*. Этот механизм предлагается реализовывать в форме совокупности двух каналов-антагонистов, каждый из которых представляет собой контур отрицательной обратной связи с задающим сигналом, или их некоторой комбинации.

Таким образом, область применимости гомеостатического подхода, оставаясь весьма широкой, ограничивается именно используемыми для его реализации средствами и предназначением. Средства в виде «гомеостатов» – это инструментарий, относящийся к классу устройств *автоматического регулирования* с отрицательной обратной связью (в форме совокупности двух каналов-антагонистов или иной). Их предназначение – это реализация *постоянства* выбранных переменных моделируемого объекта. В противоположность этому, инструментарий оптимизационного подхода относится к классу систем *экстремального управления*, который, вслед за А.А.Фельдбаумом и Л.А.Растригиным, можно трактовать как существенно более универсальный и мощный, чем класс вышеописанных регуляторов *[Растригин,1974]*. Ведь он отражает более общий, по сравнению с «постоянством», феномен «экстремальности» состояния соответствующих переменных в системе. «Постоянство» же может рассматриваться как частный случай нахождения объекта в устойчивом состоянии, соответствующем экстремуму – максимуму или минимуму – его целевой функции. Тем самым спектр предназначений оптимизационного подхода представляется существенно более широким.

Именно эти особенности позиционируют оптимизационный подход на значительно более представительном поле возможностей моделирования сложных систем по сравнению с таковым для гомеостатического подхода. Таким образом, ставить знак равенства между «гомеостазом» как одним из свойств живого и «гомеостатом» как определенным в вышеуказанном смысле непременным средством его достижения не следует!

Но, к сожалению, это постоянно происходит. Для иллюстрации приведу высказывание палеонтолога К.Ю.Еськова: «Основу европейского научного мышления составляет “Бритва Оккама” – из нескольких конкурирующих гипотез выбирается наиболее простая, не вводящая “избыточных сущностей”. Всё так, но только вот представления о “простоте” и о том, какие из сущностей являются “избыточными” могут довольно сильно различаться у представителей разных наук (…) Для физика более простыми, а потому более привлекательными, будут “однофакторные”, импактные, гипотезы резких изменений планетарной биоты в конце мелового периода (извергнулись разом все вулканы – и всё живое отравилось серой и тяжелыми металлами; упал астероид – и поднятая им пыль настолько замутнила атмосферу, что растения перестали фотосинтезировать); представления же о системных свойствах биосферы являются усложняющими, “избыточными”. Иное дело биолог; для него вполне очевидно, что экосистемы и биосфера являют собою не механические наборы живых организмов (вроде террариумов на Птичьем рынке), а высокоцелостные ***гомеостаты***, обладающие своим собственным поведением, способные кондиционировать среду своего обитания и эффективно противостоять внешним возмущениям. Поэтому, с точки зрения биолога, более простыми будут гипотезы, предполагающие внутренние причины экосистемных смен – даже наиболее резких, кризисных (превращения червеобразной гусеницы в твердую неподвижную куколку, а куколки – в бабочку выглядят со стороны явными “кризисами” в процессе индивидуального развития насекомого), а внешние воздействия станут “избыточной сущностью”, которую можно привлекать лишь после того, как исчерпаны все иные, “внутрибиосферные” варианты объяснения. Это различие между “физиками” и “биологами” (названия, разумеется, условны) носит в некотором смысле мировоззренческий характер, и оттого лучше загодя обозначить свою позицию; я, как легко догадаться, занимаю “биологическую” позицию – положение обязывает...» *[Еськов, 1999]*.

Соглашаясь *в целом* с его позицией, я никак не могу одобрить использование им в данном контексте термина «*гомеостат*» – который, кстати говоря, совершенно не обязателен здесь, поскольку «способностью кондиционировать среду своего обитания и эффективно противостоять внешним возмущениям» обладают не только гомеостаты. А относительно же их «собственного поведения», которое вообще сводится лишь к их стремлению к устойчивости, и говорить как-то не принято. Итак, по вкладываемому *биологом* смыслу, он хочет указать здесь, по-видимому, лишь на высокую эффективность и широкий спектр вариантов поведения кибернетической системы, привлекаемой им для объяснения сложных природных феноменов. Думается, что, ознакомившись с более универсальным понятием «иерархического поискового оптимизатора, для подобных ситуаций в дальнейшем он будет применять именно его.

### *3.3.2.3. Об использовании понятия «положительная обратная связь» в биологии*

«Официальная» позиция биологической науки по этому вопросу примерно следующая: «Положительная обратная связь редко встречается в биологических системах, так как она приводит к нестабильности системы и экстремальным состояниям. В этих ситуациях возникшее возмущение вызывает такие последствия, которые ещё более его усиливают» (*[Green,Stout,Taylor,1989(1996)]*, т. 3, стр. 48). Полностью соглашаясь с фразой о том, что «она приводит к нестабильности системы», должен отметить, что указанное утверждение верно «в принципе», но оно всё же недостаточно в данном контексте, ведь «к нестабильности» положительная обратная связь приводит только в тех случаях, когда она либо действует достаточно долго, либо когда она ничем не ограничивается по величине. Учет же этих возможных (временны*х* или функциональных) ограничений полностью опровергает сформулированное выше утверждение о её «редкой встречаемости в биологических системах», приводя, напротив, к утверждению о её весьма частой встречаемости в них!

Кроме того, термин «экстремальное» здесь явно использован в смысле, близком к его значению в словосочетаниях «экстремальная (или взрывоопасная, чрезвычайная и т.п.) ситуация», «лавинообразный процесс» и т.д., но никак не в смысле, близком к его значению в словосочетании «экстремальное (или направленное на поиск экстремума, т.е. максимума либо минимума некоторой функции) управление (регулирование)». Увы, эта многозначность слова «экстремальный» уже сама по себе не способствует прояснению проблемы.

Итак, объяснение весьма редкой встречаемости термина «положительная обратная связь» в биологии как результата его не вполне верного понимания понятно. Но в литературе он, тем не менее, всё же иногда используется. Приведу ряд соответствующих цитат авторов различных научных специальностей.

В частности, биологи Н.Грин, У.Стаут и Д.Тейлор приводят один из «редких», по их мнению, примеров наличия положительной обратной связи: «Например, во время распространения нервного импульса деполяризация мембраны нейрона повышает её проницаемость для $Na^+$. Ионы $Na^+$ входят в аксон через мембрану и вызывают дальнейшую деполяризацию, которая приводит к возникновению по-

тенциала действия. В этом случае положительная обратная связь действует как усилитель ответа, величину которого ограничивают другие механизмы… » *[там же]*. Упоминание об «ограничении», в данном контексте явно функциональном, весьма показательно.

Историк науки А.А.Малиновский писал: «В биологии представление о роли систем с отрицательной обратной связью было теоретически заложено в 1912 г. Н.А.Беловым *[Белов Н.А. Физиология типов. Орел: Красная книга, 1924, 156с.]* и изучено экспериментально М.М.Завадовским *[Завадовский М.М. Противоречивое взаимодействие между органами. М.: Изд-во МГУ, 1941. 80 с.]*. Они показали их огромное распространение в организме как стабилизирующего механизма, но оба отрицали возможность существования там обратных положительных связей … как дестабилизирующих развитие и функции. Утверждение о дестабилизации верно. Но в организме есть и такие процессы, и хотя действия их ограничены во времени, однако не менее важны. Обратная положительная связь, естественно, способствует взаимной стимуляции роста органов или усиления какой-либо функции. Первый пример – взаимная стимуляция роста ребенка и увеличения матки во время беременности. Явление временное, но очень важное. Действие обратной положительной связи кончается либо, как в случае родов, разрывом связи, либо … исчерпанием ресурсов, участвующих в этом взаимодействии» *[Малиновский,1984]*. Здесь речь идет об ограничении по времени.

«Системщик» Н.Н.Моисеев подчеркивал, что «…устойчивость, доведенная до своего предела, прекращает любое развитие. Она противоречит принципу изменчивости. Чересчур стабильные формы – это тупиковые формы, эволюция которых прекращается. Чрезмерная адаптация или специализация столь же опасна для совершенствования вида, как и его неспособность к адаптации. Стремление к гомеостазису должно компенсироваться другими тенденциями, определяющими рост разнообразия организационных форм. А эти тенденции неизбежно будут формировать механизмы не только отрицательных, но и положительных обратных связей (…) Для “прогрессивной” эволюции, т.е. такого процесса, который ведет к появлению новых качеств, к росту сложности организмов, к повышению уровня разнообразия, необходимы и положительные обратные связи. Они позволяют расширить поиск, полностью использовать потенциальные возможности изменчивости. В частности, тенденция к повышению эффективности использовании внешней энергии вряд ли может быть реализована без использования положительных обратных связей» (*[Моисеев,1987]*, стр. 43, 71-72).

Со своей стороны, «системщик» Эрих Янч указывал, что «…акценты на структуру, адаптацию и динамическое равновесие (стационарный поток) были характерны для раннего этапа развития кибернетики и системного анализа. В этих взаимозависимых областях исследования, активно развивавшихся с 40-х годов, было достигнуто глубокое понимание того, как можно стабилизировать данные структуры и поддерживать их бесконечно долго. Именно эти проблемы находятся в центре внимания в технологии, и именно в решении проблем управления сложными машинами и механизмами кибернетика и специализированная теория систем достигли триумфа. Однако в биологических и социальных системах этот тип управления (называемый также отрицательной обратной связью) – лишь одна сторона монеты. Никакую живую структуру невозможно стабилизировать перманентно. Другая сторона монеты связана с положительной обратной связью или с дестабилизацией и развитием новых форм. Достижение полного синтеза обоих аспектов было мечтой основателей упомянутых выше теорий Норберта Винера и Людвига фон Берталанфи (1968) *[Bertalanffy L. von. General System Theory: Foundation, Development, Application. New York, 1968]*. Их интуитивно правильные формулировки, подкрепленные и развитые Эрвином Ласло (1972) и другими, в наше время получают все более прочную научную основу *[Laszlo E. Introduction to Systems Philosophy: Toward a New Paradigm of Contemporary Thought. New York, 1972]*» *[Jantsch,1980]*.

Палеонтолог К.Ю.Еськов (в учебном пособии для средней школы!) прямым текстом интерпретирует ряд эволюционных процессов как возникновение положительной обратной связи в биосистеме (что, кстати, «гомеостату» противопоказано по определению). Приведу сразу несколько таких отрывков: «…многие палеонтологи (В.А.Красилов, В.В.Жерихин, А.С.Раутиан) приходят в последнее время к выводу о том, что *циклические балансовые модели* (типа модели Лотки-Вольтерра) – это путь к познанию *функционирования* сообществ, но не их *эволюции*. Все *необратимые* эволюционные процессы (от глобальных экосистемных кризисов до филогенеза отдельных таксонов) протекают не *благодаря*, а *вопреки* сохранению экологического равновесия. *Функционирование* сообществ основано на циклических процессах, протекающих с *отрицательной обратной связью*; для того же, чтобы началось *развитие*, она должна разрушиться и смениться на *положительную обратную связь*. Применительно к системе “хищник-жертва” это должно выглядеть так. Любой эволюционный успех жертвы (увеличение скорости передвижения и т.п.) хищник ощущает на своей шкуре немедленно; жертве же в общем-то наплевать на эволюционные приобретения хищника, поскольку *в норме* тот все равно изымает лишь небольшую часть её популяции. До тех пор, пока хищник остается в таком *реактивном* состоянии, система пребывает в равновесии. Собственно говоря, жертва начинает “замечать” хищника лишь с того момента, как его эффективность превысила некое пороговое значение, в результате чего тот начал подрывать её ресурсы. В тот самый момент, когда реактивной становится жертва, а не хищник, в системе и возникает положительная обратная связь по типу *“гонки вооружений”,* и система, выйдя из равновесия, начинает *эволюционировать* в некоем (причем совсем не обязательно в “правильном”) направлении (…) Как заметил

А.С.Раутиан, само выражение “эволюционные стратегии хищника и жертвы” не вполне правильно: у хищника стратегия есть, а вот у жертвы – одна только тактика» *[Еськов, 1999]*.

«И вот на границе венда и кембрия произошло событие, важность которого палеонтологи осознали лишь в самое последнее время: в составе докембрийского зоопланктона (бесскелетного и потому не имевшего шансов захорониться…) возникли достаточно эффективные фильтраторы, формировавшие фекальные пеллеты. Впервые эту идею высказал в 1985 г. А.Г.Пономаренко, а теперь она подтверждена геохимическими данными. Единичные фекальные пеллеты были известны и раньше (ещё в протерозое), однако именно начало кембрия – время *массового* их распространения в морских отложениях. Следствием этого, вроде бы малозначительного, события стал целый каскад экосистемных перестроек. Уменьшение мутности воды привело к резкому расширению фотической зоны и росту продуктивности экосистем. Расширение же эпиталассы привело к разрушению жесткой температурной стратификации и некоторому обогащению кислородом нижележащих водных слоев. Мало того; … именно дисперсная органика, опускающаяся из фотической зоны, является причиной аноксии в придонных слоях – ибо на её окисление там расходуется кислород; многие исследователи даже употребляют термин ***“эвтрофный океан”***. Теперь же органика эта стала, вместе с неорганическими частичками, поступать на морское дно в концентрированном, “упакованном” виде – в пеллетах. Органический детрит, обогащающий донные осадки, – это уже не удушающий эвтрофикатор, а ценный пищевой ресурс; содержание же кислорода в придонных слоях в результате возрастает до уровня, допускающего существование макроскопической донной фауны. Начиная с этого момента, в системе возникает *положительная обратная связь*: придонная фауна в свою очередь начинает очищать воду от органической и минеральной взвеси, количество кислорода в итоге опять возрастает, что ведет к дальнейшему росту разнообразия живых организмов и т.д.» *[там же]*.

«Что же касается карбона, когда насекомые с водными личинками, судя по всему, отсутствовали, то в те времена обеднение почв на водоразделах (если там вообще формировались почвы) должно было быть особенно сильным. Не исключено, что формирование в перми, и особенно в триасе, достаточно обильной фауны насекомых с водными личинками стало одним из тех факторов, которые изменили почвенную ситуацию на водоразделах и позволили растительности начать “наступление” на первичные пустыни. Важно подчеркнуть, что этот вынос микроэлементов насекомыми мог сыграть здесь роль первого толчка – дальше система будет развиваться с положительной обратной связью, ибо возникшая на водоразделах растительность сама является мощнейшим регулятором стока. Окончательно эта система могла оформиться в позднем триасе, когда появились ***двукрылые***; именно такие их представители, как, например, ***комары-звонцы*** (Chironomidae) совмещают огромную биомассу со способностью к дальнему разлету (в том числе за счет пассивного переноса ветром)» *[там же]*.

«Если вернуться к истокам среднемелового кризиса (самому возникновению покрытосеменных), то здесь обнаруживается ещё один интересный аспект, на который обратили внимание А.П.Расницын и А.Г.Пономаренко (1997). Дело в том, что, по данным последних лет, серьезные эволюционные изменения среди насекомых начинаются несколько *раньше* широкого распространения покрытосеменных – с конца юры. Это, казалось бы, противоречит гипотезе о причинной связи между этими явлениями, но только на первый взгляд. Именно в это время начинается очередная “...зация” – *ангиоспермизация голосеменных*, и широко распространяются ***проангиоспермы*** (термин В.А.Красилова, 1989) – голосеменные с отдельными чертами цветковых: таковы, например, гнетовое *Eoantha* с крупными, явно энтомофильными “цветами”, или беннетит *Manlaia*, имитирующий осоку. “С точки зрения экосистемы” точное систематическое положение всех этих проангиоспермов не столь уж важно: все они могут в некоторой степени играть экологическую роль настоящих покрытосеменных. Неудивительно, что параллельно с *энтомофильными голосеменными* появляются *антофильные насекомые*; имитаторам цветковых в растительном мире сопутствуют столь же многочисленные имитаторы бабочек среди насекомых: таковы, например, Kalligrammatidae из сетчатокрылых, или Aneuretopsychidae из скорпионниц. Важнее же всего то, что здесь складывается *система с положительной обратной связью*: наличие у некого беннетита комплекса опыляющих его насекомых стимулирует появление энтомофилии у его соседей-голосеменных, что, в свою очередь, расширяет экологическую нишу этих насекомых-опылителей, и т.д. Каждый шаг на этом пути увеличивает вероятность следующего и делает появление покрытосеменных (т.е. растений *с полным синдромом ангиоспермных признаков*) совершенно неизбежным; какая же конкретно группа голосеменных даст начало “настоящим цветковым” (равно как – какие именно из ***мекоптероидных насекомых*** породят “настоящих бабочек”), вообще-то говоря, не столь уж важно. Именно эти взаимно индуцируемые процессы Пономаренко и назвал “ангиоспермизацией мира”» *[там же]*.

«Тундростепь отличалась тем, что травяной ярус её формировали в основном не мхи (как в тундре), а злаки; здесь складывался крайне криофильный вариант … травяного биома с его высокой биомассой пастбищных копытных и хищников – ***мамонтовой фауной***. В её составе были причудливо смешаны виды, приуроченные ныне к тундре (северный олень, овцебык, леминги), к степям (сайгак, лошадь, верблюд, бизон, суслики), а также виды, характерные лишь для этого сообщества и исчезнувшие вместе с ним: ***мамонт***, ***шерстистый носорог***, саблезубый тигр (***смилодон***), ***гигантская гиена***. Исчезновение мамонтовой фауны в начале голоцена одни исследователи связывают с климатическими изменениями, другие же считают этих животных жертвами человека (“охотников на мамонтов”). Сторонники гипотезы “антропогенного вымирания” резонно указывают, что все предыдущие межледниковья, когда ещё

не было человека, криофильная мамонтовая фауна пережила вполне спокойно. Сторонники гипотезы "климатических воздействий" – опять-таки резонно – возражают, что голоценовое вымирание было наиболее масштабным не в относительно густо заселенной Евразии, а в практически безлюдной в те времена Северной Америке (человек проник сюда лишь около 10–12 тыс. лет назад из Азии через Берингов пролив); на прародине же человечества, в африканских саваннах, никаких вымираний вообще не было. Кроме того, вымирание захватило не только крупных травоядных и хищников, но и целую кучу маммальной мелочи, которая никак не могла быть для кроманьонцев ни добычей, ни врагами, подлежащими целенаправленному уничтожению. Представляется, что наиболее близок к истине В.В.Жерихин (1993): *"Каждый тип травяного биома производен от вполне определенной сукцессионной системы с лесным климаксом* [в случае тундростепи: от тайги – *К.Е.*]. *При вторичном сильном сокращении площади травяных сообществ они могут полностью утратить комплекс* [поддерживающих их – *К.Е.*] *крупных травоядных, а тем самым и эндогенную стабильность. В этом случае они могут вновь приобрести статус сериальных. Ярким примером могут служить современные реликтовые тундростепи, сохранившиеся в таежных сукцессионных системах после полного исчезновения тундростепного биома*". В момент таяния ледника и резкого увлажнения климата расширяются моховые тундры и сокращаются злаковые тундростепи, служащие пастбищем для мамонтовой фауны. Дополнительные неприятности для популяций этих животных создает то, что тундростепной ландшафт оказывается "нарезанным" на "острова": и из теоретической экологии, и из современной практики заповедного дела известно, что для крупных животных несколько мелких резерватов хуже одного крупного (равного им по площади). Вот в этих-то, кризисных, условиях человек мог нанести мамонтовой фауне последний удар: выборочно уничтожая крупных копытных, он значительно ускорил превращение тундростепей в лесные сообщества – а дальше процесс этот пошел неостановимо, с положительной обратной связью, пока не исчез весь данный фаунистический комплекс (хотя часть его сохраняется ныне в фауне тундр и степей)» *[там же]*.

Таким образом, биологи просто вынуждены привлекать понятие положительной обратной связи для объяснения наблюдаемых ими феноменов. Другое дело, что примеры использования этого понятия весьма разобщены, и это понятно: в отсутствие целостной *кибернетической* модели, могущей их объединить, они не дают того эффекта, на который можно было бы рассчитывать. То есть следует констатировать, что специалисты-кибернетики («кибернетисты» в терминологии Стругацких) находятся в долгу у биологов!

### *3.3.2.4. О целевом подходе*

Ещё в 1961 году А.Н.Колмогоров заявил: «Если считать, что анализ любой высокоорганизованной системы естественно входит в состав кибернетики, придется отказаться от распространенного мнения, что основы кибернетики включают в себя лишь изучение систем, имеющих *заранее назначенные* (курсив мой –- С.Г.) целевые состояния» (см. *[Колмогоров,1979]*, стр. 14). К сожалению, «распространенное мнение» оказалось слишком распространенным... Не это ли привело к резкому снижению общественного внимания к кибернетике, а в конечном итоге – к кризису её как науки?

Для анализа особенностей целевого подхода приведу мнения нескольких различных авторов. Так, М.Месарович отмечал: «Споры о роли телеологических обоснований в биологии и об их приемлемости начались очень давно и не теряют остроты до сих пор. Фон Брюкке приписывают высказывание…, в котором он характеризует "телеологию как даму, без которой не может прожить ни один биолог, но с которой, однако, он стыдится появиться в обществе" Для того, чтобы подчеркнуть, что телеологические объяснения в биологии должны базироваться на научном фундаменте, Дэвис (*[Davis B.D. The Teleonomic Significance of Biosynthetic Control Mechanisms. Cold Spring Symp. on Quantitative Biology,1961]*) поддержал предложение Г.Питтендрая *[Pittendrigh G.S. Behavior and Evolution. Yale University Press,1958.]* использовать термин *телеономия… Существует важный класс ситуаций, в которых эффективное конструктивное задание системы удается получить только при помощи описания, основанного на понятии целенаправленности (т.е. телеологического описания)* (курсив цитируемого автора – С.Г.)... представленного с помощью понятий, которые выражают цели в поведении системы (такие, как адаптация, эволюция, управление, гомеостаз и т.п.)» (*[Mesarovic,1968-1971]*, стр. 98-99).

Н.Н.Моисеев писал: «Я вполне разделяю мнение Б.С.Украинцева: "Такой общей закономерностью у сознательного целеполагания и несознательного функционирования самоуправляемой системы любой природы является направленность к достижению определенного результата" (*[Украинцев Б.С. Самоуправляемые системы и причинность. М.: 1972]*, С.27). Это обстоятельство позволяет более широко взглянуть на категорию "цель", очистить её от чрезмерных антропоморфных наслоений и разумно объективировать её, распространив её на те сферы несознательного функционирования, где существует целенаправленность к достижению эффекта, где действие определяется потребностью» (*[Моисеев,1982]*, стр. 80).

А.А.Ляпунов, обсуждая вопрос об изучении информационных потоков, управляющих эволюцией управляющих систем, формулировал: «Эти задачи обладают тем свойством, что цель управления возникает внутри системы, а не задается извне. В основе лежит то обстоятельство, что случайно возникающие приспособления, содействующие самосохранению, ведут к повышенной устойчивости объекта и закрепляются путем отбора» (*[Ляпунов, 1980]*, стр. 216). В рамках предлагаемой концепции уточняется,

что «путем отбора закрепляются» не просто «приспособления, содействующие самосохранению», но приспособления, соответствующие *при этом* тенденции движения к экстремуму *энергетического критерия* соответствующих уровней (ярусов) в иерархии. Модели биообъектов клеточного уровня, базирующиеся на этой идее, описаны ниже, в разделе 5; для систем организменного уровня подобную идею развивает В.Д.Цветков *[Цветков,1999];* для систем надорганизменного уровня подобная идея предложена и обоснована Н.С.Печуркиным *[Печуркин,1982]*, в этом же направлении работает и В.Г.Суховольский *[Суховольский,2001]*.

А.А.Зубов отмечает: «Биологи выдвигали и выдвигают различные принципы оценки совершенства того или иного вида, среди которых прежде всего выделяют выживаемость, степень адаптированности, объем биомассы, скорость и масштабы размножения, устойчивость по отношению к действию ряда вредоносных факторов (радиация, яды и т.д.), длительность существования в своей экологической нише» *[Зубов,2003]*. В работе Н.Ф.Реймерса сформулирован ещё один «*закон оптимальности:* с наибольшей эффективностью любая система функционирует в некоторых характерных для неё пространственно-временных пределах (или: никакая система не может сужаться или расширяться до бесконечности)» (*[Реймерс,1992]*, стр. 48). По мнению же А.Ю.Авсюка: «Можно сказать, что функция как задача, которую необходимо осуществить, предшествует структуре, механизму своей реализации. Вот почему в современном знании можно увидеть то, что было гениально предвосхищено Аристотелем в учении о целевой причине и движении как осуществлении целенаправленного процесса (энтелехии): “обусловленность через цель” происходит не только среди “поступков, определяемых мыслью”, но и “среди вещей, возникающих естественным путем”; “с точки знания сущности действительность идет впереди возможности” *[Аристотель. Метафизика. М.; Л., 1934],* стр. 159, 193; “что именно есть” и “ради чего” – одно и то же” *[Аристотель. Физика. М., 1936],* стр. 34» *[Авсюк,1997]*.

Обсуждая проблемы эволюции живого, Л.А.Блюменфельд указывает, что «…согласно Л.Бергу главной проблемой биологической эволюции является обязательное возникновение целенаправленного ответа на воздействие. На самом деле Берг сформулировал новый постулат, новый принцип: фундаментальным свойством жизни является целенаправленность» *[Блюменфельд,2002]*.

Возможно, это действительно так (хотя выше и упоминалось о подобных же воззрениях Аристотеля...). Но проблема в том, что само понятие «цель» понимается различными авторами по-разному. Так, Ю.В.Сачков отмечает, что: «сами представления о потребностях, об их удовлетворении тоже можно рассматривать как цель эволюционирующей системы – её можно назвать внутренней целью. Однако под целью обычно принято определять нечто такое, достижение чего требует действий, непосредственно направленных на анализ и ассимиляцию элементов окружающей среды. Базовые потребности живых систем практически не меняются во времени, а цели изменяются вместе с изменениями во внешней среде. В общем виде цель можно определить, следуя Н.А.Бернштейну *[Бернштейн,1966]*, как предвосхищающую модель потребного организму будущего, обеспечивающую достижение таких результатов, которые ведут к удовлетворению потребностей в заданных конкретных условиях… Сами же представления о цели глубоко эшелонированы, иерархичны: некоторые из подцелей связаны с “конечными” потребностями выживания автономных систем, другие же прямо соотносятся со взаимодействием с ближайшим окружением систем. Соответственно этому достижение цели представляет собою непрерывный процесс, в ходе которого достигаются все новые и новые результаты» (*[Сачков,2002]*, стр. 164-165). То есть он констатирует наличие противоречия: с одной стороны, цели «обычно принято определять» как внешние по отношению к системе, с другой – имеется масса примеров эффективного использования этого понятия при интерпретации поведения автономных и иерархических систем.

А.Ю.Севальников, подробно рассмотрев аргументы, связанные с введением целевой причины в целостной, холистичной Вселенной, где она возникает, с его точки зрения, необходимым образом, делает следующий вывод: «Можно показать, что телеологизм требует и Универсума, где есть понятие индивидуальности, *отдельности* (курсив автора – С.Г.) вещей, если мы признаем существование закона и хотим избежать господства хаоса и произвола. И тут мы приходим к… парадоксальному результату… Оказывается, что любая философия, предполагающая существование науки, не отрицающая существование законов, требует введения понятия цели, целевой причины. Но внутри здания самой науки (а не её метафизических принципов – как антропный принцип) сделать это, похоже, невозможно. Вывод, который напрашивается и требует дальнейшего обсуждения, следующий. Либо принципиальным образом должен меняться тип рациональности… либо необходимым образом неполна сама наука, поскольку внутри самой себя она не может формализовать, описать некоторые основные, необходимые ей принципы» (*[Севальников,2002]*, стр. 86).

Д.Кеньон предлагает свое видение проблемы: «Телеологический взгляд долгое время считался неприемлемым в биологии, хотя некоторые авторы утверждали, что положение о неприемлемости телеологического взгляда в биологии является скорее кажущимся, чем реальным, при фактическом проведении исследований… Но новые данные по проблеме происхождения жизни согласуются с идеей целенаправленного процесса космической эволюции… Почему в таком случае мы не решаемся утверждать, что цель космической эволюции есть жизнь на основе углерода?» *[Кеньон,1975]*.

В целом можно констатировать, что целевой подход, который достаточно успешно демонстрирует свою эффективность при моделировании сложных систем, на сегодня используется всё же совершенно недостаточно. Но есть и надежда на скорое изменение этого положения. Вот что пишет по этому поводу В.В.Казютинский: «В философских основаниях постнеклассической науки ещё только вызревает мысль о необходимости возврата к пониманию Вселенной как органического целого, свойственная не только мудрости древнего Востока *[Степин В.С. Теоретическое знание. М., 2000]*, но и Аристотелю. Этот процесс проявляется в усиливающемся влиянии на космологию различных биоаналогий (типа естественного отбора вселенных, галактик, звезд), которые постепенно приобретают значение большее, чем простые метафоры. Появляются отдельные попытки распространить на Вселенную модели "телеономической" или "квазителеологической" систем по аналогии с биологическими системами. Рассмотрение Вселенной как органически целостной системы постепенно пробивает себе дорогу в качестве идеала объяснения и описания всех явлений природы. Пока в этом отношении сделаны лишь самые первые шаги. Насколько эффективными окажутся эти модели, неясно – современные знания недостаточны для определенного ответа на этот вопрос. Но следует иметь в виду, что "цель", – это не обязательно "сознательная цель", понятие цели применяется и по отношению к разного рода квазителеономическим системам. Например, кибернетика в качестве цели рассматривает конечное состояние, к которому стремится система» *[Казютинский,2002]*.

Предлагаемая концепция, по-видимому, вполне может быть отнесена к этим «самым первым шагам», а характерные для неё *энергетические* цели вполне могут быть интерпретированы как реализация указанных кибернетических соображений.

### *3.3.2.5. О памяти биосистем*

До последнего времени понятие *памяти* относили, в основном, к двум объектам: памяти как свойству нервной системы и памяти ЦВМ (цифровых вычислительных машин). В первом случае память рассматривают как «способность к воспроизведению прошлого опыта, одно из основных свойств нервной системы, выражающееся в способности длительно хранить информацию о событиях внешнего мира и реакциях организма и многократно вводить её в сферу сознания и поведения» *[Розанов,БСЭ,1975]*. СЭС уточняет, что различают память «произвольную и непроизвольную, непосредственную и опосредствованную, кратковременную и долговременную. Особые виды памяти: моторная (память-привычка), эмоциональная или аффективная (память “чувств”), образная и словесно-логическая» *[СЭС,1982]*, стр. 972. В электронной… энциклопедии On-Line по характеру проявления различают «образную, эмоциональную и словесно-логическую (только у человека). Физиологические и биохимические основы памяти пока не ясны» *[Память]*.

С.Роуз дает следующую характеристику истории развития представлений о человеческой памяти как явлении: «Память с древнейших времен интригует философов. Каждая культура выдвигала для неё собственную аналогию. У греков это были записи на восковых дощечках, в средние века такой аналогией служили сложные гидравлические системы из труб и клапанов. В XVII веке, в эпоху зарождения современной западной науки, подходящими аналогами казались устройства с рычажками и шестеренками, в XIX веке их место заняли электрические схемы, а во второй половине XX века на смену им пришел компьютер. Я утверждаю, что ни одна из этих аналогий не дает истинного представления о богатстве человеческой памяти, понять которую можно, только зная биологию самого мозга, динамику структурных, химических и электрических взаимодействий между его молекулами и клетками, хотя память и несводима “просто” к этим взаимодействиям» (*[Rose,1992(1995)]*, стр. 14).

И.П.Ашмариным введено понятие *биологической памяти*, более общее, нежели понятие нейрологической памяти: «Биологическую память можно определить как способность живых существ (или их популяций), воспринимая воздействия извне, закреплять, сохранять и в последующем воспроизводить вызываемые этими воздействиями изменения функционального состояния и структуры… Способность эта может быть атрибутом индивидуального организма (нейрологическая, иммунологическая память) или целой цепи поколений живых существ (генетическая память), или поколений клеток тканей высших животных (эпигенетическая память)» *[Ашмарин,1975]*.

Большинство упоминаний в литературных источниках о *памяти* биообъектов различного характера относится, естественно, к организменной памяти *[Бехтерева; Биофизика]*. Относительно явления, которое можно называть «памятью» иных уровней интеграции живого, упоминаний существенно меньше. Тем не менее, пишут о «химической» памяти *[Митчелл,1959; Jantsch,1980]*, о «генетической» памяти *[Тарасов,1980,1981; Ратнер,2000]*, о «клеточной» памяти *[База знаний по биологии…]* и др.

Примеры: «Индивидуальные молекулы служат фундаментальными единицами принятия решений в мозгу… Функция нейронов состоит в том, чтобы обеспечивать связь этих единиц между собой *[Conrad M. Molecular information structures in the brain // Journal of Neuroscience Research, 1974, V.2, pp.235-254]*. В данной статье поведение животных, в особенности научение и память, сводятся к поведению белков – либо индивидуальных, либо собранных в сверхструктуры… Взаимодействие миллиардов таких молекулярных событий, осуществляемое через надлежащие связи, приводит к сложным формам научения у человека и животных *[Fridrich P. Protein Structure: the primary substrate of memory // Neuroscience, 1990,*

*V.35, pp.1-7]*» (*[Rose,1992(1995)]*, стр. 217-218). «В популяциях, где отдельные особи различимы, где каждая особь наделена памятью, обладает своим характером и опытом и призвана играть свою особую роль, применимость логистического уравнения или, более общо, простого аналога дарвиновских идей становится весьма относительной» (*[Пригожин,Стенгерс,1986],* стр. 256). «Говоря о памяти, мы имеем в виду систему, обеспечивающую запись (кодирование), хранение и передачу информации от одних поколений к другим» (*[Моисеев,1987]*, стр. 84).

Во втором случае память ЦВМ рассматривают как «часть ЦВМ, предназначенную для записи, хранения и выдачи информации, представленной в цифровом коде; совокупность взаимосвязанных запоминающих устройств, сумма емкостей которых составляет емкость памяти ЦВМ. По функциональным признакам память ЦВМ обычно разделяют на основную (...), рабочую (...) и вспомогательную (...)» (*[СЭС,1982]*, стр. 972). С позиций дальнейшего изложения особенно важно, что «память современных ЭВМ строится в виде многоступенчатой иерархической системы, что обеспечивает экономически оправданное удовлетворение противоречивых требований – большой емкости и высокого быстродействия. В иерархию памяти ЭВМ обычно входят: внешняя память очень большой емкости... ещё одна ступень внешней памяти, меньшей емкости и более высокого быстродействия... внутренняя, или оперативная, память... сверхоперативная память... регистры... постоянная память... буферная память...» *[Гусев, Крайзмер,1975]*. Современные «персональные ЭВМ имеют четыре иерархических уровня памяти: микропроцессорную память, регистровую КЭШ-память, основную память, внешнюю память» *[Запоминающие…]*.

В *[Ашмарин,1975]* указывается, что, к сожалению, изучение биологической памяти как целого наталкивается на огромные трудности, связанные с междисциплинарным характером такого исследования «внутри» биологии. Тем более это относится к попытке междисциплинарного рассмотрения понятия *память* «вне» биологии – применительно к сложным системам наиболее общего характера, чаще всего предпринимаемыми философами, психологами, литературоведами. Так, Э.Брода, описывая динамические состояния в биосистеме, указывал: «Динамическому состоянию (которое выражается в постоянной замене веществ, входящих в состав организма, новыми, подобными им в химическом отношении – стр. 399) должно быть приписано известное общебиологическое значение: оно, вероятно, способствовало выживанию и размножению организмов в духе дарвиновского учения о происхождении видов. В чем же состоит это значение? Если когда-нибудь эта проблема будет разрешена, можно будет поставить дальнейший вопрос о том, почему динамическое состояние у некоторых веществ, входящих в состав клеток, выражено гораздо сильнее, чем у других. С точки зрения биологического приспособления нас не может удивлять то, что, например, коллаген, выполняющий механические функции, питательное вещество казеин, предназначенное для “экспорта”, и, в особенности, ДНК, обеспечивающая генетическую непрерывность, в меньшей мере подвержены обновлению, чем белки сыворотки или печени, или РНК, которые в процессе обмена веществ занимают ведущее положение» (*[Брода,1959]*, стр. 402).

В свою очередь, А.И.Лисин пишет: «Процессы, как известно, застывают, кристаллизуются в структурах. Соответственно ту информацию, которая воплощена в структурах, согласно Л.Бриллюэну, можно назвать структурной, или связанной. Утратившая динамичность информация обретает “покой”: ей нет нужды передаваться далее, она опять “уходит в тень” материальности, её обязанность теперь – хранить качественную определенность данного объекта (в процессах жизни эта функция играет определяющую роль в виде нервного субстрата и получает собственное наименование – память)» *[Лисин,1999]*. О.Е.Баксанский также отмечает, что «в процессе эволюции существует примат поведения над структурой, то есть поведение чаще всего изменяется первым, а уже затем эволюционируют структуры, чтобы облегчить и усовершенствовать это поведение» *[Баксанский,2001]*. Широко известна и более ранняя формулировка А.М.Молчанова на ту же тему: «нынешняя структура есть следствие вчерашней кинетики» *[Молчанов,1967]*. При этом, по мнению А.П.Назаретяна, «память – не пассивное фиксирование следов воздействий, а сложная операция по переносу переживаемого опыта в будущее» *[Назаретян,2001]*. Точка зрения Д.С.Лихачева: «Память активна. Она не оставляет человека равнодушным, бездеятельным. Она владеет умом и сердцем человека... Память – преодоление времени, преодоление смерти. В этом величайшее нравственное значение памяти. Совесть – это в основном память» *[Лихачев,1985]*. И так далее, этот ряд можно продолжать и продолжать.

С позиций предлагаемой концепции различие характерных времен процессов в иерархии живого интерпретируется как *системная память* (структур о прошлом *приспособительном* поведении). Другими словами, наиболее адекватную интерпретацию понятия системной памяти возможно сделать на базе анализа опыта разработки и применения механизмов обучения и самообучения поисковых оптимизационных алгоритмов с адаптацией, ряд параметров которых естественно трактуется как параметры процессов запоминания, сохранения, забывания и «считывания» памяти (см., напр., *[Растригин,1981]*).

### *3.3.2.6. О биологических ритмах, или биологических циклах*

«Биологические ритмы – периодически повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений. Б.р. в той или иной форме присущи, по-видимому, всем живым организмам и отмечаются на всех уровнях организации – от внутриклеточных процессов до популяционных и

биосферных (…) Б.р. наследственно закреплены и являются важнейшими факторами естественного отбора и адаптации организмов. Б.р. могут возникать как реакция на периодические изменения среды (*экзогенные* Б.р.), но чаще они генерируются самим организмом. В этом случае они возникают на основе саморегулирующихся процессов с запаздывающей обратной связью (! – С.Г.). Внешние воздействия могут сдвигать фазу этих Б.р. и менять их амплитуду. Такие Б.р. называются *эндогенными* (…) *В целом природа ритмических процессов в биологических системах во многом не ясна, а знания об их механизмах часто носят умозрительный характер* (курсив мой – С.Г.)» *[Биология,БЭС,1999]*, стр. 64-65.

Вывод, который делает БЭС «Биология», по-видимому, вполне оправдан. Для получения уверенности в этом достаточно обратиться к БСЭ, которая ещё несколько лет назад писала буквально следующее: «Существуют 2 точки зрения на природу Б.р.: 1) Б.р. основаны на происходящих в организме строго периодических физико-химических процессах – *«биологических часах»*. Изменения внешних условий служат сигналами времени, которые могут сдвигать фазы ритма. При постоянстве условий ритмичность полностью спонтанна, что доказывается несовпадением циркадного ритма с колебаниями геофизических факторов. 2) Организм воспринимает циклы проникающих геофизических факторов (геомагнитное поле, космические лучи и т.д.). Собственная система измерения времени, если она имеется, играет вспомогательную роль. Изменения освещения и температуры могут сдвигать фазу Б.р. по отношению к геофизическому циклу. Под влиянием неестественных для организма, но постоянных условий может возникнуть регулярный сдвиг фазы Б.р.» *[Чернышев,БСЭ,1970]*. Но «объяснение» возникновения ритмов в организме наличием в нем неких *«биологических часов»* на самом деле объяснением не является, т.к., выделяя в причине возникновения ритмов временной фактор, оно полностью игнорирует пространственный (т.е. локализацию этих «часов») и, главное, собственно *механизм* их реализации (субстрат, алгоритмы функционирования и т.п.). Подобный подход сродни определению неизвестной переменной $X$ через неизвестную же переменную $Y$ : $X = Y$ , не продвигающему нас в познании природы.

Аналогичным образом «объяснение» возникновения биологических ритмов *Биосферы* их «космической природой» *[Красногорская,Пархомов,1992]* на самом деле объяснением также не является, т.к. выделяет лишь (важный, но узкий!) аспект влияния Космоса на Биогеосферу (что очевидно), но никак не механизм собственно генерации её ритмов во всей их иерархической соподчиненности.

И.Пригожин в свое время отметил: «Явления репродукции сообщают жизни ярко выраженный циклический характер» *[Пригожин,1959]*. Для исследования проблемы жизни он в дальнейшем широко использовал так называемую *термодинамику необратимых явлений*, пределы применимости которой четко определил: «Химическая эволюция живой или неживой системы, по-видимому, может быть определена дифференциальными уравнениями, характеризующими её кинетику. Термодинамика необратимых процессов исследует по возможности общие свойства этих уравнений, *не высказывая специальных гипотез относительно структуры системы* (курсив мой – С.Г.)» *[там же]*. То есть его подход также не ориентирован на выявление структурных основ биоритмики, и нельзя надеяться на то, что это важное само по себе научное направление даст результат и в данном аспекте.

Таким образом, на сегодняшний день обычно просто констатируют факт, что ритмика в биосистемах существует, и, не задаваясь вопросом её генезиса, исследуют её всеми доступными способами. Так, А.Б.Рубин пишет: «Во многих биологических системах наблюдаются периодические процессы: колебания концентраций промежуточных продуктов в гликолизе и фотосинтезе, колебания численности видов, периодические биохимические реакции. Интерес к колебательным биологическим процессам особенно возрос в связи с изучением "биологических часов", в основе которых лежит автоколебательная система внутриклеточных биохимических реакций. Во всех этих случаях именно внутренние динамические свойства системы, а не какие-либо внешние воздействия являются причиной колебательных изменений. Такие системы называются автоколебательными» *[Рубин,1998а,б]* (см. также *[Олейников,1987; Шноль,1996; Атлас…,1998; Волкова,1998; Губин,Губин]* и др.).

Но иногда реализуются и иные подходы. Например, Г.А.Заварзин обращает внимание как раз на аспект *возникновения* цикличности, и привлекает при аргументации своей позиции относительно его объяснения кибернетические соображения: «Без баланса противоположно направленных процессов биогеохимическая система неизбежно пришла бы к стационарному состоянию за счет накопления продуктов… органического углерода и кислорода. Отсюда следует принцип циклической организации процессов, прослеживаемый на всех уровнях. Устойчивость системы обеспечивается цикличностью процессов в ней. Частичная незамкнутость циклов ведет к сукцессии в её саморазрушающем сообщество смысле и переходу в новое состояние. Сукцессия здесь понимается как экосистемное развитие под действием внутренних сил по типу *обратных связей* (курсив мой – С.Г.)» (*[Заварзин,2001а]*, стр. 163).

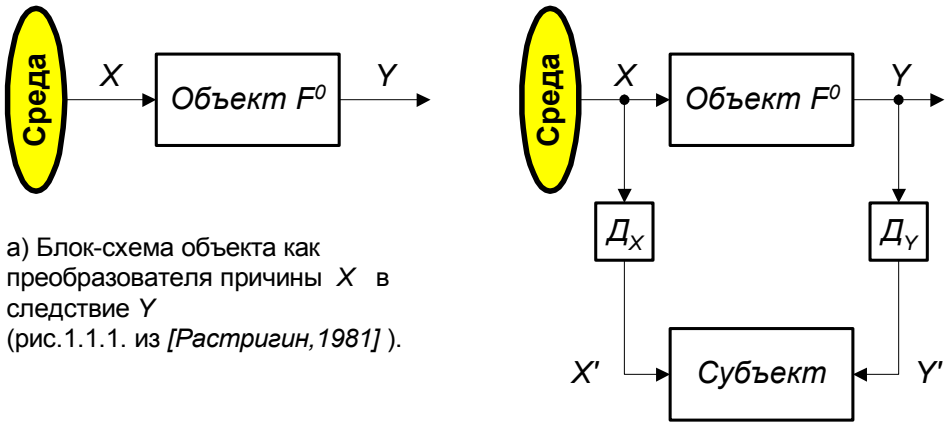
В заключение мне лишь остается отметить, что с позиций предлагаемой концепции так называемая «роль колебательных процессов в механизмах адаптации биологических систем» (см., например, *[Баевский,Геллер,1974]*) сводится просто к *проявлению деятельности таких механизмов*. Эти проявления (или, по крайней мере, их существенная часть), интерпретируются как проявление *рысканий* в процессе поискового приспособительного поведения системы живого в целом, и составляющих её биообъектов различных уровней интеграции в частности. А также как проявление *рысканий* инициируемых ими от-

кликов – изменений целевых критериев и характеристик системной памяти соответствующих биообъектов. И как следствие этого напрашивается вывод, что структурной основой биоритмики является именно *структурная основа механизма иерархической поисковой оптимизации живого*. Ниже аргументация этих положений будет рассмотрена более подробно.

### *3.3.2.7. Формальная постановка задачи управления сложным объектом*

Рассмотрим классическую постановку задачи управления. Следуя Л.А.Растригину, под ***управлением*** понимается «процесс организации такого целенаправленного воздействия на объект, в результате которого этот объект переводится в требуемое (целевое) состояние» (*[Растригин,1981]*, стр. 14). Тогда ***объект управления*** - «та часть окружающего нас мира, состояние которой нас интересует и на которую можно целенаправленно воздействовать - управлять» *[там же]*.

Объект погружен в среду, состояние которой $X$ влияет на его состояние (выход) $Y$ (рис. 3.3а). Таким образом, объект представляется как преобразователь $F^0$ состояния среды в состояние объекта: $Y = F^0(X)$ , где: $F^0$ - пока неизвестный оператор связи входа $X$ и выхода $Y$ объекта, характеризующий специфику его работы, а среда может быть представлена двойкой $< X, Y >$.




а) Блок-схема объекта как преобразователя причины $X$ в следствие $Y$ (рис.1.1.1. из *[Растригин,1981]* ).

б) Блок-схема взаимодействия субъекта и объекта управления (рис.1.1.2. из *[Растригин,1981]* ).

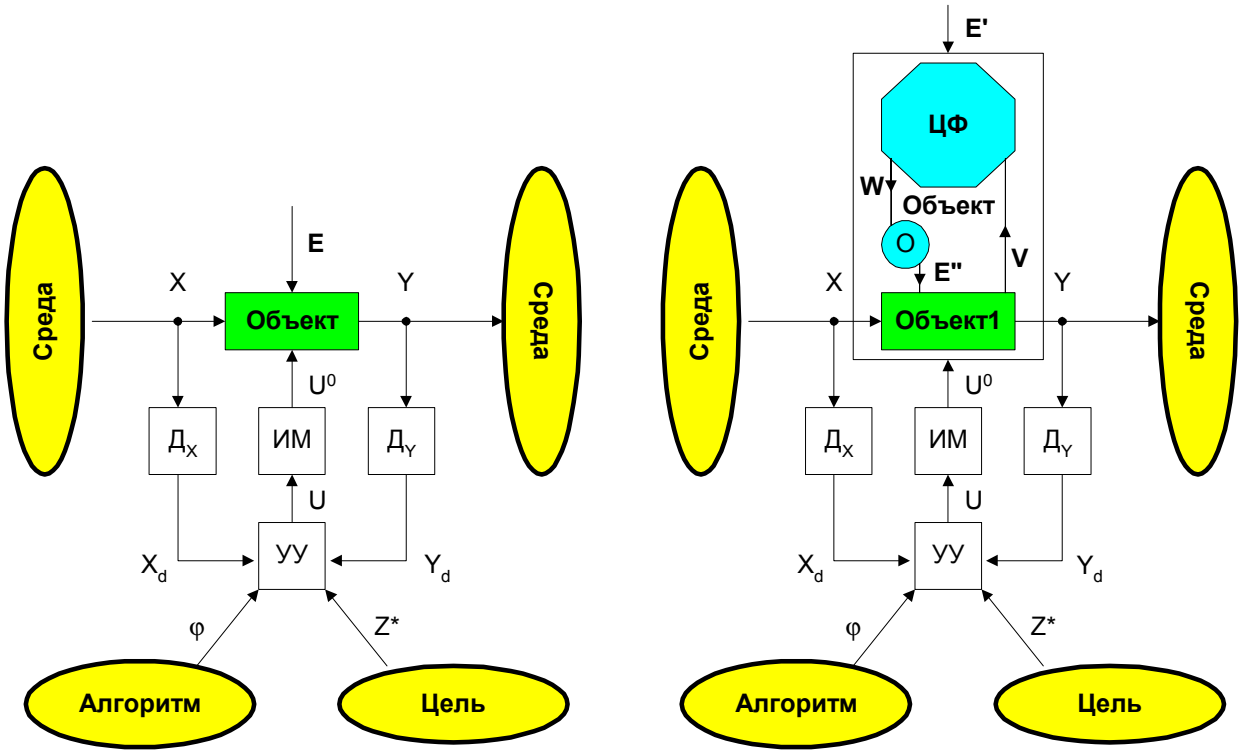
Рис. 3.1. Базисные блок-схемы структур, реализующих управление объектом.

«Говоря об управлении как о целенаправленном процессе, нельзя обойти того, чьи цели реализуются в процессе управления. Для этого необходимо ввести понятие “субъекта”, который является источником целей, реализуемых управлением… под субъектом совершенно необязательно подразумевать какую-то личность; это может быть группа людей, объединенная по какому-то признаку, и даже все человечество, если рассматривается управление глобальными объектами – такими, как окружающая среда, космос и т.д. » (*[Растригин,1981]*, стр. 14).

«Выделив» объект из среды, приходим к схеме рис. 3.3б. «Здесь $Д_x$ *и* $Д_y$ – система “датчиков” (его рецепторы, сенсоры), с помощью которых субъект воспринимает среду и объект. Информация $< X', Y' >$ образует “сенсорную среду” субъекта, т.е. ту часть среды $< X, Y >$, которую он способен воспринять своими сенсорами. Удобно (хотя это и не соответствует действительности) считать, что субъект всегда по поводу любого объекта формулирует свою цель (цели) $Z^*$, реализация которой в объекте приведет, по мнению субъекта, к удовлетворению его потребностей. Эта цель представляет собой набор требований, предъявляемых субъектом к состоянию $Y$ объекта. Будем обозначать выполнение целевых требований $Z^*$ в объекте равенством $Y = Z^*$ , а невыполнение – неравенством $Y \neq Z^*$ (…) Для реализации управления необходимо создать канал управления $U$ , с помощью которого можно влиять на состояние объекта управления: $Y = F(X, U)$ , где $F$ – по-прежнему оператор работы объекта, но учитывающий наличие фактора управления $U$ . Теперь можно создавать *систему управления*, под которой будем понимать совокупность алгоритмов обработки информации и средств их реализации, объединенных для достижения заданных целей управления в объекте. (Заметим, что система управления далеко не всегда воплощается “в металле”. Она может представлять собой систему правил, договоров и обязательств, которые реализуются в процессе управления) (…)

Блок-схема системы управления показана на рис. 3.4а. Здесь $Д_x$ *и* $Д_y$ – датчики, измеряющие состояние среды и объекта соответственно. Результаты измерений $X' = Д_x(X)$ и $Y' = Д_y(Y)$ поступают на управляющее устройство (УУ), которое вырабатывает команды управления $U$ . Эти команды должны быть обработаны исполнительными механизмами (ИМ) с тем, чтобы изменить состояние управляемого входа $U'$ объекта. Для функционирования управляющего устройства ему нужно сообщить цель $Z^*$ (к чему следует стремиться в процессе управления), а также алгоритм $\varphi$ управления – указание, как доби-

ваться поставленной цели, располагая информацией о состояниях среды, объекта и цели: $U = \varphi(X', Y', Z^*)$. Как видно, управление связано прежде всего с целями $\{Z^*\}$, которые поступают извне в систему управления. Эти цели образует (генерирует) «субъект», который и является потребителем будущей системы управления объектом. Субъект выступает в качестве заказчика и потребителя создаваемой системы управления» (*[там же]*, стр. 15-16).




а) Схема системы управления сложным объектом (рис. В2.1 из *[Растригин,1980]*)

б) Предлагаемая схема системы управления в супрасложной системе

Рис. 3.2. Схемы систем управления сложными объектами

*Обозначения к рисункам*: $X$ – воздействие среды на объект; $Y$ – состояние объекта (его выход); $Д_x$ *и* $Д_y$ – датчики, с помощью которых измеряется состояние среды и объекта соответственно; $X_d = D_x(X)$ ; $Y_d = D_y(Y)$ , где $D_x$ *и* $D_y$ – операторы этих датчиков; $U$ - управляющее воздействие, вырабатываемое устройством управления *УУ*; $U^0$ – управляемые (исполнительным механизмом *ИМ*) входы объекта; $E$ – ненаблюдаемое возмущение.

**********

Такова классическая постановка проблемы управления в её теории (т.е. в технической кибернетике).

### *3.3.2.8. О проблеме управления в системах «достаточно высокой» сложности*

Необходимо констатировать, что понятие *сложности* принято рассматривать как первичное и (по-видимому) интуитивно ясное. По крайней мере, ни БСЭ, ни СЭС, ни «Философская энциклопедия» не содержат статей, раскрывающих смысл этого понятия как такового. Если же обратиться к представленному в БСЭ определению *сложной системы* (**«*Сложная система*,** составной объект, части которого можно рассматривать как *системы,* закономерно объединённые в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями» *[Бусленко,БСЭ,1976]*), то придется признать, что в настоящее время оно не может считаться вполне информативным. Цитированное выше (см. пункт 3.1.1) определение *системы* также носит слишком общий характер.

Следовательно, представляется актуальным уточнить это понятие, по крайней мере, применительно к *сложности* объекта управления. В современной классической теории управления весьма подробно разработаны вопросы управления простыми объектами, и достаточно хорошо – объектами средней сложности. В фундаментальном труде Л.А.Растригина *[Растригин,1980]* для «интуитивно понятного» термина «сложный объект управления» отмечаются такие его черты (но не формальные признаки), как:

а) отсутствие математического описания при наличии необходимости в нем,

б) стохастичность поведения,

в) «нетерпимость» к управлению,

г) нестационарность,

д) невоспроизводимость экспериментов.

При этом он указывает, что свойство «нетерпимости» к управлению особенно наглядно «проявляется в активных объектах, содержащих в себе людей или их коллективы, ... здесь трудно рассчитывать на то, что собственные цели такого сложного объекта совпадут с целями управления» (*[там же]*, стр. 19).

И это действительно так. Более того, *активное поисковое поведение людей* в рамках той или иной системы естественно приводит к интерпретации *поведения такой системы* как стохастичного, нестационарного, невоспроизводимого. Но следует добавить, что и *активное поисковое поведение и биообъектов* любого типа и уровня интеграции весьма часто приводит к таким же последствиям. Таким образом, возникает задача уточнения существа «сложного объекта управления» и конкретизации его модельного представления.

Рассмотрим ещё раз общую схему системы управления сложным объектом согласно *[Растригин,1980]* (рис. 3.4а). С позиций поставленной нами задачи наиболее интересной характеристикой такой схемы представляется «ненаблюдаемое возмущение $E$, под которым подразумеваются все ненаблюдаемые внешние и внутренние факторы объекта, влияющие на его состояние $Y$, т.е. $Y = F\left(X, U^0, E\right)$... Относительно входа $E$ могут выдвигаться лишь определенные предположения, но непосредственно этот вход не измеряется. Вход $E$ образуют, прежде всего, неизмеряемые параметры среды (например, температура внешней среды при автоматическом управлении температурой камеры холодильника) и всякого рода случайные изменения характеристик самого объекта (например, дрейф его характеристик)» (*[там же]*, стр.15). С моей точки зрения, именно эта характеристика $E$ может выступить «мостиком» для сопряжения предлагаемых новых представлений о внутренних управляющих (оптимизационных) механизмах систем «достаточно высокой» сложности с существующими.

Как уже указывалось выше, в разделе 2, основная идея предлагаемого подхода состоит в *рассмотрении адаптивного (и эволюционного) поведения всех систем «достаточно высокой» сложности в терминах поведения иерархического рандомизированного механизма адаптивной поисковой оптимизации иерархической совокупности целевых критериев (энергетического характера).* Проиллюстрирую эту идею с помощью рисунка 3.4б *[Гринченко,2000]*. Теперь структура «сложного объекта управления», ранее рассматриваемого как пассивный, но, тем не менее, обладающий свойствами а)÷д) (см. выше), составляет триаду: «Объект1»+«Блок вычисления целевой функции ($ЦФ$)»+«Оптимизатор ($O$)». Оптимизатор перманентно изменяет переходную функцию $F$ «Объекта1», блок $ЦФ$ отслеживает ($V$) и вычисляет ($W$) критерий оптимизации (например, соотношение текущих энергических затрат в «Объекте1»).

Таким образом, ненаблюдаемое возмущение $E$ расчленяется на две составляющие: все так же неизмеряемые параметры среды $E'$ и изменения характеристик самого объекта $E''$ (как это, в частности, и отмечает Л.А.Растригин). Но последние уже не просто «случайные»: они являются выходом активного механизма оптимизации. Это хорошо моделирует алгоритм *случайного поиска*, который, помимо случайной, необходимо содержат и существенную регулярную компоненту. Каналы $V$ и $W$ увязывают данную триаду в контур поисковой оптимизации энергетических характеристик соответствующей системы. В результате мы имеем при любой попытке управления *объектом «достаточно высокой» сложности* два (вообще говоря, разнонаправленных) управляющих процесса, реализуемых, с одной стороны, контуром внешнего регулирования «Объект»-«$УУ$», а с другой стороны – имманентно встроенным в «Объект» внутренним контуром поисковой оптимизации его состояния «Объект1»-«$ЦФ$»-«$O$». Это и обуславливает плохо предсказуемое поведение систем «достаточно высокой» сложности, которое иногда называют «антиинтуитивным» (подробнее см. ниже, в подразделе 9.8).

#### *3.3.2.8.1. Проблема идентификации и супрасистемы*

Термин «идентификация» широко применяется в самых различных областях науки и практики: в психологии и социологии, в криминалистике, в математике и технике, в химии и др. БСЭ дает следующее его определение: «**Идентификация**, признание тождественности, отождествление объектов, опознание (…) **И.** устанавливает соответствие распознаваемого предмета своему образу – предмету, называемому идентификатором. Идентификаторы, как правило, являются знаками взаимосоответствующих предметов; идентичные предметы считаются равнозначными, то есть имеющими одинаковый смысл и значение» *[БСЭ,т.10,1972,С.39]*. То есть, в соответствии с данным определением, ещё *до начала* собственно процедуры идентификации должен быть выявлен (постулирован) *идентификатор* как *базисный элемент* этой процедуры.

В рамках существующей парадигмы процессов познания природы идентификацию рассматривают как процесс синтеза познавательных моделей. Их специфика «отражается в своеобразии причинно-следственных связей каждого объекта или явления, которые удобно представить в виде некоторого “преобразователя” причины в следствие» (*[Растригин,Маджаров,1977]*, стр. 7). Ответ на вопрос: что

называть объектом идентификации? – дают в виде: «его удобно представлять в виде многополюсника, где $X$ – наблюдаемые входы объекта $Y = F_0(X, E)$, $E$ – его ненаблюдаемые входы, $Y$ – наблюдаемые выходы объекта» (*[там же]*, стр. 15). При этом задачу идентификации рассматривают как определение конкретного вида оператора объекта $F_0$. Подобный подход продемонстрировал и продолжает демонстрировать свою эффективность для самых различных приложений.

Но, к сожалению, упоминаемое выше «удобство представления» имеет место только при изучении сравнительно простых объектов, для которых причинно-следственная зависимость выходов от входов очевидна и легко выявляема. И оно сразу же теряет свою эффективность при переходе к изучению системных объектов, сложность которых превышает некоторую грань, а причинно-следственные связи базисных процессов не могут быть выявлены – то есть для *систем «достаточно высокой» сложности*, приспособительное поведение которых систем следует рассматривать в терминах поведения соответствующих элементов имманентно присущего им иерархического механизма поисковой оптимизации. Следовательно, в качестве *идентификатора* таких систем должна выступать уже существенно более развитая структура, чем многополюсник, а именно – *иерархический оптимизационный механизм*. Поскольку основные процессы в нем – генерация поисковой активности и выработка целевого критерия – образуют *контур* иерархической оптимизации, становится понятно, почему классический причинно-следственный подход здесь неприменим. Ведь в любом *замкнутом* контуре причины и следствия процесса *в целом* выделить невозможно – притом, что каждый *отдельный* «отрезок» такого контура вполне можно трактовать как реализующий ту или иную причинно-следственную связь.

Таким образом, основная идея предлагаемого подхода к идентификации систем «достаточно высокой» сложности состоит в трактовке их идентификатора именно как структуры, существенно более сложной, чем функциональный преобразователь $F_0$ – т.е. как *иерархического оптимизационного механизма*. А это влечет за собой необходимость пересмотра всей парадигмы процессов познания природы, и в том числе – и идентификации. При этом наиболее общее энциклопедическое определение этой процедуры не нарушается, конкретизации подвергаются лишь «знаки взаимосоответствующих предметов». Другое дело, что подобная, достаточно кардинальная смена «знака» влечет за собой весьма существенный пересмотр всей дальнейшей методологии её проведения, в настоящее время ориентированной только на восстановление вида оператора объекта $F_0$. Следует же развить специальный формальный аппарат, позволяющий параметризовать структуру «каркаса» таких систем.

### *3.3.3. Информатика*

Существует большое число определений термина “информатика” (в работах *[Кибернетика…,1986; Айламазян,Стась,1989; Развитие…,1991; Кузнецов,Полонников,Юсупов,2000; Лачинов,Поляков]* приведены соответствующие обзоры, см. также *[Поспелов,1997]*).

По мнению коллектива авторов во главе с И.А.Мизиным, «в настоящее время (имеется в виду 1991 г. – С.Г.) информатику... можно рассматривать как комплексную дисциплину: во-первых, это естественная наука (фундаментальные и прикладные исследования); во-вторых, отрасль промышленности (опытно-конструкторские работы и производство); в-третьих, инфраструктурная область (профессиональная деятельность и эксплуатация систем информатизации). Как естественная наука информатика изучает общие свойства информации (данных и знаний), методы и системы для её создания, накопления, обработки, хранения, передачи и распределения с помощью средств вычислительной техники и связи. Как отрасль промышленности информатика занимается проектированием, изготовлением, сбытом и развитием систем информатизации и их компонентов. Как инфраструктурная область информатика занимается сервисом и эксплуатацией систем информатизации, обучением и др. Как фундаментальная наука информатика связана с философией - через учение об информации и теорию познания; с математикой – через теорию математического моделирования, математическую логику и теорию алгоритмов; с лингвистикой – через учение о формальных языках и о знаковых системах. Она также тесно связана с теорией информации и управления. Важнейшими методологическими принципами информатики является изучение объектов и явлений окружающего мира с точки зрения процессов сбора, обработки и выдачи информации о них, а также *определенного сходства этих процессов при их реализации в искусственных и естественных (в том числе в биологических и социальных) системах* (курсив мой – С.Г.). Важнейшей задачей информатики является изучение и обеспечение “дружественного” интерфейса между человеком и аппаратно-программными средствами обработки информации» *[Развитие…,1991]*.

Н.А.Кузнецов формулирует задачу разработки «научных представлений об **информационном взаимодействии** объектов различной природы, т.е. по существу формирование нового направления науки – **"информатики взаимодействия"** (выделено автором – С.Г.). По аналогии с классическими науками, такими как физика (исследующая физические взаимодействия), механика (исследующая механические взаимодействия) и т.д., информатика взаимодействия исследует свой специфический вид взаимодействия – информационный, осуществляемый путем передачи сообщений, задача которых – вызвать

определенную реакцию адресата» *[Кузнецов, О развитии…]*. При этом в качестве её инструментария он рекомендует использовать такие существующие в настоящее время и достаточно универсальные модели, методы и алгоритмы информационного взаимодействия, как:

- «традиционные методы планирования эксперимента, в основе которых лежат *поисковые алгоритмы оптимизации* (здесь и далее курсив мой – С.Г.);
- методика математического и *компьютерного моделирования*, алгоритмы идентификации моделей;
- методы распознавания образов;
- оценка пропускной способности канала передачи информации;
- модели и оценки характеристик систем множественного доступа» *[там же]*.

Точка зрения В.И.Сифорова: «Информатика имеет дело не с конкретными формами материи, а с категориями: информация, модель и т.п. ... Необходимо развивать информатику в следующих основных направлениях:

- теория информации применительно к *многоуровневым системам* (здесь и ниже курсив мой – С.Г.);
- *информационные процессы в эволюции (переход от неживого к живому), раскрытие внутренних механизмов развития систем*;
- моделирование и техническая реализация творческих процессов;
- повышение качественных показателей информации;
- методы обработки информации;
- создание вычислительных систем большой мощности; развитие диалоговых средств общения ЭВМ с пользователем» *[Сифоров,1984]*.

Таким образом, в содержательном наполнении термина *«информатика»* проблематика настоящей работы представлена достаточно широко. В частности, необходимо подчеркнуть, что предлагаемая модельная концепция приспособительного поведения системы живого *принципиально* не может быть *в целом* изложена *на бумаге* с помощью математических формул и систем уравнений, позволяющих свое дальнейшее аналитическое изучение либо количественное решение. Её исследование *принципиально* возможно лишь с помощью *компьютерного (имитационного) моделирования* описывающих её итеративных процессов, «каркасом» которых выступают процессы поисковой оптимизации.

### *3.3.4. Самоорганизация*

Термин «самоорганизация» был введен в научный обиход в начале 60-х годов, в разгар интереса к кибернетике (см., например, *[Самоорганизующиеся системы,1964; Принципы самоорганизации,1966]*), и довольно часто использовался различными авторами. «К фундаментальным, исходным принципам кибернетики относится самоорганизация, ... отражающая способность сложной динамической системы противостоять энтропийным факторам среды. Процесс самоорганизации, таким образом, характеризуется возрастанием упорядоченности системы и непосредственно связан с процессами самоуправления и энергоинформационным взаимодействием со средой» (*[Пушкин,1974]*, стр. 98).

Более свежий пример определения этого термина: «Под ***самоорганизацией*** будем понимать изменение структуры, обеспечивающее согласованность поведения благодаря наличию внутренних связей и связей с внешней средой. Самоорганизация – это естественное выражение процесса самодвижения материи. Способностью к самоорганизации обладают системы живой и неживой природы, а также искусственные системы» (*[Айламазян,Стась,1989]*, стр. 48).

Термин «самоорганизация» активно используется в области динамики нелинейных систем, или синергетики. Можно даже считать, что именно в данной области он в последние годы используется чаще всего. Так, Е.Н.Князева и С.П.Курдюмов отмечают: «Хотя яркие образы синергетики – образы самоорганизации и самодостраивания структур, бифуркационных, катастрофических изменений и т.п. – используются сейчас многими, но пока в большинстве случаев нет ясного понимания смысловой насыщенности представлений о самоорганизации. Нет осознания всей суровости механизмов самоорганизации и самодостраивания как удаления лишнего, повсеместной беспощадной конкуренции и выживания сильнейших, в результате чего и совершается выход на относительно устойчивые и простые структуры-аттракторы эволюции (…) Из теории самоорганизации следует, что всякие открытые системы с сильной нелинейностью, скорее всего, пульсируют. Они подвергаются естественным колебаниям развития: тенденции дифференциации сменяются интеграцией, разбегание – сближением, ослабление связей – их усилением. По видимому, мир идет к единству не монотонно, а через пульсации, посредством чередования распадов (хотя бы частичных) и более мощных объединений. Это представление резонирует с восточными образами "ритмов жизни" мира, с китайским символом инь-ян (…) Сформулированные положения составляют основу нового мировидения, если хотите, – новой идеологии, которую имплицирует синергетика. Такой идеологии, выведенной из знания законов эволюции, самоорганизации и самоуправления сложных систем, явно не хватает человечеству» *[Князева,Курдюмов]*.

Предлагаются и развития представлений о самоорганизации. Например: «В значительной степени иерархическую структуру живого можно рассматривать как следствие бифуркационных явлений в процессе самоорганизации» (*[Лисичкин,Шелепин,Боев,1997]*, стр. 260). Звучат и критические замечания, причем определяющие известную трактовку самоорганизации как «классическую»: «“классические”

концепции самоорганизации (Г.Хакен, И.Пригожин и др.) не до конца последовательны: поскольку в них уделяется гораздо больше внимания процессам и механизмам образования сложных структур, чем механизмам активного сохранения сложности, то вне поля зрения остаются эволюционные истоки тех выраженно субъектных качеств (управление, целенаправленность, “пристрастность”), которые явно демонстрируют высокоорганизованные системы» *[Назаретян,1997]*.

Обратимся к развернутой позиции Н.Н.Моисеева. Он писал: «Сегодня всё чаще и чаще, даже в областях, далеких от физики, используют термин «самоорганизация». Что он означает? Единого, всеми принятого определения термина «самоорганизация» не существует. Разные авторы используют разные определения, бытует и термин «синергетика», который я стараюсь не использовать. Поэтому надо условиться о смысле термина «самоорганизация», прежде чем начать его использовать. Условимся называть самоорганизацией системы такой процесс изменения её состояния (или характеристик), который происходит без целенаправленного (может, лучше – целенаправляемого) начала, каковы бы ни были источники целеполагания. Можно говорить и о стихии самоорганизации – здесь мы ошибки не сделаем. Причины, побуждающие процесс самоорганизации, могут быть как внешними, так и внутренними. Если же речь идет об Универсуме как единой системе, то процесс её изменения идет только за счет внутренних взаимодействий, т.е. за счет факторов, принадлежащих Универсуму. Никаких внешних взаимодействий мы не наблюдаем, значит, согласно принципу Бора, мы не имеем права говорить, что они существуют. И центральной проблемой теории систем является проблема описания этого процесса.

Механизмы самоорганизации Универсума, т.е. материального мира и многих подсистем, его составляющих, далеко не познаны. Последнее означает, что для многих из них ещё не создано интерпретаций, имеющих смысл эмпирических обобщений, и мы вынуждены опираться на те или иные гипотезы. Я думаю, что познание механизмов самоорганизации и составляет суть фундаментальных наук. Однако сегодня мы уже понимаем, сколь разнообразны и многочисленны эти механизмы. И возникает естественный вопрос: не существуют ли некоторые общие принципы или интерпретации, позволяющие увидеть их общность (сделать шаг к простоте, который нам позволит приблизиться к пониманию сложности)? Несмотря на ограниченность наших знаний, всё же просматривается некоторая общая логика этого процесса. Её можно будет увидеть, если мы сумеем найти общий язык, годный для описания схемы процесса самоорганизации для всех трех этажей мироздания — неживой, или косной, материи, живого вещества и общества. Пока же, в этой главе, мы будем говорить лишь о первом этаже, имея в виду в дальнейшем показать универсальность этой логики.

В качестве основы языка описания схемы механизмов самоорганизации мне кажется наиболее удобным (если угодно, даже естественным) использовать язык дарвиновской триады – «изменчивость», «наследственность» и «отбор». Смысл этих терминов, разумеется, должен быть существенным образом расширен по сравнению с тем, который в них вкладывал знаменитый автор теории происхождения видов. Кроме того, как мы увидим ниже, одного этого языка заведомо недостаточно. По мере восхождения по ступеням сложности его придется непрерывно расширять. Но точки зрения, выработанные в процессе анализа систем (этот термин я предпочитаю широко распространенному термину «системный анализ»), дают определенные основания для рационального расширения языка, удовлетворяющего принципу Оккама – минимальному привлечению новых понятий. Во всяком случае, язык, основанный на использовании дарвиновской триады, позволяет увидеть то, что лежит в основе общей логики развития материального мира, логики, которая просматривается в основе развития всех трех этажей Универсума – неживой, или косной, материи, живого вещества и «мира человека». При всем качественном различии этих форм существования материи их развитие связывает общая логика! И переоценить значение этого факта невозможно» *[Моисеев,2001], С.36-37.*

Близка к этой и позиция Р.Ровинского, также не ставящая знак равенства между теорией самоорганизации и синергетикой: «В 70-х годах XX века появилось понимание того, что существует природное явление, названное **самоорганизацией материи** (выделено автором – С.Г.). Понимание явилось прямым следствием фундаментального факта – установления необратимости всех известных науке природных процессов, протекающих как в макромире, так и в микромире. Самоорганизация предстает как важнейший фактор, ведущий к образованию качественно новых свойств вещества. Этот фактор действует в открытых неравновесных системах, находящихся в процессе развития. Все известные науке системы являются таковыми. Так что самоорганизация предстает как движущая сила наблюдаемого в нашем Мире созидания. Естественным образом возникают следующие вопросы:

Что лежит в основе самоорганизации?

Какими средствами самоорганизация обеспечивает реализацию своих созидательных функций?

В результате чего обеспечивается направленный характер развития как Вселенной в целом, так и её составных подсистем?

Что касается ответа на первый вопрос, то пока можно говорить лишь о том, что самоорганизация – это изначально присущее материи свойство. Ученые наблюдают это свойство в экспериментах, но объяснение, возможно, придет позже, когда будет достигнут более глубокий, чем сегодня, уровень знания о природе вещества и вакуума» *[Ровинский]*.

В цитированной выше работе В.Г.Пушкин дал перечень важнейших характеристик самоорганизующихся систем: «Принципиальное значение в проблеме самоорганизации имеет выделение специфи-

ческих свойств, присущих любой самоорганизующейся системе независимо от её природы. В качестве характеристик самоорганизующейся системы мы выделяем самоорганизующуюся активность, внутреннюю целесообразность, надежность и стохастичность, полагая при этом, что эти четыре свойства в их системной совокупности образуют статус самоорганизующейся системы» (*[Пушкин,1974]*, стр. 98-99). За прошедшие три десятка лет подобный перечень принял несколько иной вид, сравним: «В середине XX века широкое распространение получила когнитивная репрезентация самоорганизующихся систем, которая пришла из кибернетики. В качестве основных характеристик самоорганизующихся систем можно указать следующие *[Карпинская Р.С., Лисеев И.К., Огурцов А.П. Философия природы: коэволюционная стратегия. М., 1995, стр. 313]*:

1) способность активно взаимодействовать со средой, изменять её в направлении, обеспечивающем более успешное функционирование системы;
2) наличие определенной гибкости структуры или адаптивного механизма, вырабатываемого в ходе эволюции;
3) непредсказуемость поведения самоорганизующихся систем;
4) способность учитывать прошлый опыт или возможность научения» (*[Баксанский,2001]*, стр. 58).

Легко видно, что в обоих случаях здесь перечислены по четыре характеристики, одновременно относящиеся и к адаптивным оптимизационным системам, использующим при этом в качестве алгоритма своего функционирования *случайный поиск*. Интересно, что *активность* – единственная характеристика, вошедшая в оба перечня, а в последний включен как системообразующее понятие эквивалент *памяти*. Таким образом, дальнейшее развитие эта напрашивающаяся идея – трактовка самоорганизации как процесса иерархической поисковой оптимизации – получает именно в рамках предлагаемой концепции.

На важность «языковой функции» теории самоорганизации указывает и Л.В.Белоусов: «Как мне кажется, основная, наиболее плодотворная и доступная для биологов сфера применения теории самоорганизации – это не построение определенных моделей (хотя этого тоже вовсе не следует отвергать), а *перевод на язык данной теории фундаментальных понятий, принципов и эмпирических данных биологии* (курсив автора – С.Г.). Уже одна только формулировка воздействия генов на морфогенез в терминах параметрического управления (впервые предпринятая, насколько я знаю, Д.С.Чернавским – см. *[Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. М.: Наука, 1984]*) есть огромный шаг в разрешении “проклятого вопроса” нескольких десятилетий, заботившего людей такого масштаба как А.Г.Гурвич, Т.Морган, Р.Гольдшмидт или К.Уоддингтон. При этом решение получилось одновременно точным и целостным! Следуя в русле этих идей, более 10 лет тому назад я попытался показать, что такие фундаментальные понятия эмбриологии как компетенция, детерминация, дифференцировка и индукция так непринужденно “ложатся” на язык теории самоорганизации, как будто создатели этих понятий были с ней знакомы *[Белоусов Л.В. Биологический морфогенез. М.: Изд-во МГУ, 1987]*. При этом многое предстает совершенно в новом свете, удается сформулировать новые исследовательские задачи, в то время как некоторые другие оказываются, напротив, некорректными или ненужными» *[Белоусов,2001]*. Не скрою, на подобный же эффект от прочтения данной книги хотелось бы надеяться и мне!

### *3.3.4.1. О концепции самоорганизации природы Л.И.Шабалина*

Этот же язык использует и геолог Л.И.Шабалин при формировании собственной концепции «Системы самоорганизации природы». В ней он предлагает – естественно, в своих профессиональных терминах – новые идеи для описания процессов самоорганизации природы. Среди них: контактно-соударительный закон («все многообразие природных объектов материального мира создается в результате соударения составляющих их частей и способности этих частей соединяться по определенному морфогенетическому коду» *[Шабалин,1998]*), принцип устойчивости-подвижности («развитие природных объектов непосредственно зависит от их физической *устойчивости* в определенных физико-химических *условиях внешней среды* и *кинетической энергии направленного движения* {курсив мой – С.Г.} составляющих их субстанций» *[там же]*), микропорододиффузионный каталитический эффект как главный регулятор поддержания обмена веществ в процессе самоорганизации природы на атомно-молекулярном уровне («преобразует бесцельное хаотические блуждание молекул в растворах в целенаправленное движение по обмену веществ и поддержанию жизни» *[там же]*), механизм диффузионного флюидозамещения и молекулярно-кинетический механизм формирования поверхностного слоя жидкости. Даже первичное ознакомление с указанными идеями позволяют легко переформулировать их с физико-химического языка на язык кибернетики (относящийся в данном случае атомарному и молекулярному уровням Мироздания). Таким образом, идеи Л.И.Шабалина представляются актуальными не только в теории и практике геологической проблематики, но и весьма интересными с позиций предлагаемой концепции иерархической поисковой оптимизации системы природы. В свою очередь, опираясь на последнюю, он (и его последователи) могли бы уточнить некоторые свои положения о самоорганизации системы природы. Например, с её позиции выглядит небесспорным отождествление таких основных уровней интеграции природы, как «(горная) порода» – «(живая) клетка», и «земная кора» – «живые организмы» (*[там же]*, стр. 214). Опираясь на глубокую внутреннюю общность процессов в природе, можно считать весьма плодотворным перенесение

можно считать весьма плодотворным перенесение некоторых идей – с позиции наиболее общего представления о системе природы – из одной предметной области в другую. И трудно не согласиться с мнением Л.И.Шабалина, что «в области общественных наук... люди, как и молекулы, также, хотя и не в буквальном смысле, участвуют в контактах-соударениях, объединяются в различные, в той или иной степени устойчивые, сообщества (семьи, нации, государства, клубы, товарищества, компании и т.д.) под влиянием различных духовных и материальных связей и образуют в конце концов общественный организм в соответствии с едиными законами природы» (*[там же]*, стр. 218).

## 3.4. Адаптация

### 3.4.1. Адаптация в естественных науках

***Адаптация*** (от лат. adaptatio - прилаживание, приспособление, adapto - приспособляю) – «процесс приспособления строения и функций организмов (особей, популяций, видов) и их органов к условиям среды» *[Парамонов,БСЭ,1970]*. Данное энциклопедическое определение уже не является общепринятым, даже применительно к живой природе. В работе *[Георгиевский,1989]*, посвященной кропотливому рассмотрению именно этой специальной проблемы, читаем: «Существующие определения понятия адаптации довольно отчетливо объединяются в три группы: тавтологические, определения через «главный» признак, полисемантические» (стр. 13).

Для первой группы характерно восприятие этого понятия как перевода латинского слова adapto в значении приспособления организмов к *внешней* среде (в частности, см. выше).

Определения второй группы также имеют организмоцентрический характер, но делают упор на биохимические, морфологические, физиологические и поведенческие аспекты реализации механизмов адаптации. При этом одни авторы сводят адаптацию к процессам устойчивости живых систем на разных уровнях организации (например: «...***адаптация*** представляет собой сформированную в филогенезе целенаправленную совокупность молекулярных реакций, обеспечивающих поддержание целостности живых систем, имеющих самостоятельное значение в эволюции (клетка, семья, популяция, вид, ценоз)» *[Ушаков,1963]*, стр. 11). Другие определяют адаптацию «в предельно широком значении, исходя из функциональной устойчивости как фундаментального свойства жизни» (*[Георгиевский,1989]*, стр. 17). Например: «***Адаптация*** (приспособление) – совокупность реакций живой системы, поддерживающих её функциональную устойчивость при изменении условий окружающей среды» (*[Шкорбатов,1971]*, стр. 146). Существует также множество определений адаптации, сводящих её к принципам равновесия, сохранения, поддержания гомеостаза (например: «Я предлагаю определение, согласно которому форма поведения ***адаптивна***, если она удерживает существенные переменные в физиологических пределах» (*[Ashby,1960(1964)]*, стр. 101).

Наконец, полисемантические (фактически – двузначные) определения отражают противоречивое содержание самого явления адаптации – как процесса и как результата. В трактовке адаптации как процесса четко выделяются два аспекта: *онтогенетический* («формирование полезных организму признаков и организации в целом – системы внутриорганизменных коадаптаций – на основе реализации исторически сложившейся наследственной нормы реакции генотипа в типичных для данного вида условиях среды» *[Георгиевский,1989]*, стр. 19) и *филогенетический*, отражающий историческое преобразование самой нормы реакции (что «соответствует дарвиновскому пониманию содержания органической эволюции – созданию новых и усовершенствованию уже приобретенных полезных признаков» *[там же]*, стр.19).

Попытки дать некоторое универсальное определение данного понятия либо предельно упрощены («адаптацию... можно считать универсальным свойством живого» *[Печуркин,1988]*, стр.103), либо чрезвычайно многословны («Адаптация – комплекс морфофизиологических и поведенческих особенностей особи, популяции или вида, обеспечивающий успех в конкуренции с другими видами, популяциями и особями, и устойчивость к воздействиям факторов абиотической среды. Способность к адаптации имеет определенные пределы, характерные для каждого вида. В составе адаптации различают две группы приспособлений: аккомодацию (обратимый процесс на уровне особи, популяции, вида и биоценоза с разделением на эврибионтов и стенобионтов) и адаптивную радиацию (в широком смысле – практические необратимые, генетические закрепленные формы приспособлений, обусловленные естественным отбором, устойчивые во времени и пространстве ареала популяции, вида или типа биоценоза; в узком смысле – возникновение в пределах определенной систематической группы форм, приспособленных к разнообразным условиям существования)» *[Адаптация]*), либо приводят лишь к ещё большей степени абстракции. Так, проведя огромную работу по анализу этого термина, А.Б.Георгиевский выдвигает свой вариант: «***Адаптация*** есть особая форма отражения системами воздействий внешней и внутренней среды, заключающаяся в тенденции к установлению с ними динамического равновесия» (*[там же]*, стр. 27). Но снова возникают вопросы: «В чем состоит *особость* этой формы? Каков механизм реализации указанной тенденции?» и другие.

Для того чтобы ответить на эти вопросы, обратимся к информационным и техническим наукам. Но предварительно подытожу: адаптация в естественных науках, в большинстве случаев, рассматривается

именно как *процесс приспособления* соответствующего биообъекта к внешней по отношению к нему среде (лишь иногда – и к внутренней среде). А *адаптивность* соответственно – как свойство этого *неделимого* объекта как такового (в этой связи интересно мнение Г.Патти: «Концепция адаптируемости является холистической, она вообще не разложима на простые компоненты» *[Патти,2002]* – это он уж слишком…). С позиций предлагаемой концепции (см. подраздел 2.1, постулат 3.1), в иерархии системы природы ***все*** объекты основных уровней интеграции, в том числе и биообъекты, обладают свойством *адаптивности*, причем последние – в его максимальном проявлении – *обобщенной адаптивности*. В технике же – части Второй Природы, создаваемой Человечеством – ситуация несколько иная.

### *3.4.2. Адаптация в технике*

Здесь понятие адаптации также часто ассоциируется с понятием *устойчивости*, определяемым как способность системы поддерживать внутренние параметры в ответ на возмущающие воздействия внешний среды (см. выше). Но, в отличие от естественных объектов (например, биообъектов), в технике говорят о *введении* механизмов, реализующих процесс адаптации для некоторого произвольного технического объекта (ранее такими механизмами не обладавших). Упор при этом делается на особенность сбора для этого необходимой информации: если вся такая информация «закладывается» в технический объект в момент его создания (т.е. просто в его конструкцию), то процесс функционирования последнего адаптивным никогда не называют. Если же вся такая информация (либо существенная её часть) собирается именно в процессе функционирования технического объекта, то это и называют его адаптацией. Таким образом, раскрытие характера и особенностей механизмов реализации адаптации – предмет кибернетики и информатики. В частности, установления её соотношения с такими понятиями, как самоорганизация, управление, оптимизация, поисковая оптимизация и т.п.

Ещё недавно доля *адаптивных* среди всех *собственно технических* устройств и систем, используемых Человечеством после начала промышленной революции (середина XV века), была малой, и для обеспечения достаточной эффективности их работы использовался почти исключительно человеческий фактор. Но включение человека – оператора, водителя, машиниста, настройщика и т.п. пользователя системы (или её «эксплуататора») – в состав *собственно технической* системы сразу же расширяет её до «человеко-машинной» адаптивной системы. С началом же компьютерной и «сетевой» информационных революций (расчетные оценки 1946 и 1979 гг. соответственно – см. *[Гринченко,2001(з)]*) все бо́льшая часть функций по обеспечению адаптивности таких систем переносится внутрь их *технической составляющей*, высвобождая человека от указанных «оперативных» действий. Тем не менее, получается, что и в иерархии искусственной Второй Природы ***все*** объекты основных уровней интеграции – «человеко-машинные» технические системы – также обладают свойством *адаптивности*, причем в его максимальном проявлении – *обобщенной адаптивности*.

Итак, рассмотрим теперь некоторые определения понятия адаптации, введенные различными авторами с технической – а не с естественнонаучной – точки зрения:

- «***Адаптацией*** мы будем называть процесс изменения параметров и структуры системы, а возможно, и управляющих воздействий на основе текущей информации с целью достижения определенного, обычно оптимального состояния системы при начальной неопределенности и изменяющихся условиях работы… Наиболее характерная черта адаптации состоит в накоплении и немедленном использовании текущей информации для устранения неопределенности с целью оптимизации избранного показателя качества» (*[Цыпкин,1968]*, стр. 58); данное определение достаточно универсально и применимо, в том числе, и для биологических систем;
- «***Адаптация*** представляет собой целенаправленное самоизменение системы под воздействием среды и в силу внутренней активности системы, при котором сама система определяет критерии своего поведения и осуществляет их выбор» *[Марков,Растригин,1977б]*; это определение также достаточно универсально и применимо и для биосистем, под «критериями поведения» которых тут имеется в виду самосохранение;
- «***Адаптация*** – способ управления объектом в обстановке неопределенности среды и самого объекта» (*[Растригин,1981]*, стр. 13); здесь акцент сделан именно на отсутствии достаточной информации об окружающей обстановке и о собственной структуре и параметрах управляемого объекта, а необходимость её сбора в процессе управления (функционирования) подразумевается неявно;
- «***Адаптация*** как процесс приспособления системы управления к специфическим свойствам объекта и окружающей среды имеет несколько иерархических уровней, соответствующих различным этапам управления сложным объектом: а) параметрическая адаптация (коррекция, подстройка параметров модели объекта); б) структурная адаптация; в) адаптация объекта; г) адаптация целей управления» (*[там же]*, стр. 25-27).

Итак, подытожу: при рассмотрении *адаптации* в технике упор делают не просто на её трактовку как процесса *приспособления* соответствующего технического объекта к внешней по отношению к нему среде. Это тривиально, поскольку сам термин *адаптация* – запись кириллицей соответствующего латин-

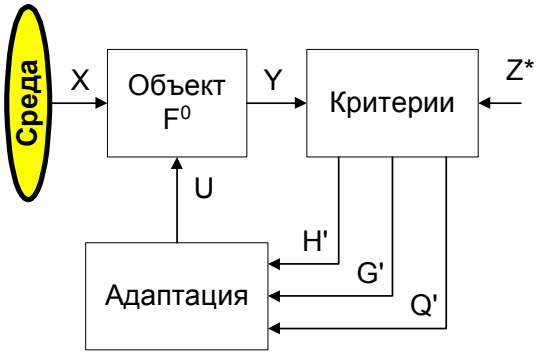
ского термина. В технической кибернетике акцентируют внимание на главную особенность этого *процесса приспособления* – формирования и усложнения механизма его реализации на основе *опыта*, приобретаемого *непосредственно в ходе* указанного процесса.

Следует указать, что спектр возможных средств, применяемых при конструировании подобных механизмов, весьма широк. Соответственно различается и степень их универсализма. В частности, аппарат теории автоматического *регулирования [Фельдбаум,1959]*, вполне позволяющий реализовывать простейшие процессы адаптации, тем не менее, может быть применен лишь в тех немногих случаях, когда *разнообразие* внешних воздействий на техническую систему (и их число, и диапазон их изменения) крайне незначительно, и реакцию на каждое можно a priori предусмотреть. По мере того, как в рассмотрение бралось все большее разнообразие таких воздействий, развивались все более и более изощренные подходы к решению указанной задачи: теория автоматического *управления* (теория непрерывных самонастраивающихся систем *[Красовский,1963]*, теория систем автоматического управления с переменной структурой *[Емельянов,1967]* и др.), и наконец – теория *экстремального управления [Казакевич,1944; Растригин,1974]*. Последняя предполагает *абсолютное* разнообразие – *полное отсутствие* априорной информации как о самом объекте управления, так о возможных воздействиях на него, – позволяя решать задачу его адаптации даже в столь фантастически сложных условиях. Именно эта уникальная особенность данной теории (она же – теория *поисковой оптимизации*) и определила выбор её как основы для построения предлагаемой концепции *иерархической поисковой оптимизации* системы природы.

### *3.4.2.1. Формальная постановка задачи адаптации системы управления*

Л.А.Растригин описывает классическую постановку задачи адаптации сложных систем – с помощью наиболее универсального метода поисковой оптимизации – следующим образом.

«Рассмотрим задачу адаптации объекта $F^0$ (рис. 3.5) как задачу управления. Объект погружен в среду, состояние которой $X$ влияет на его состояние $Y$. Кроме того, состояние $Y$ объекта может изменяться с помощью его адаптируемых факторов $\mathbf{U}$: $\mathbf{U} = (u_1,...,u_q)$




Блок-схема адаптации объекта.

Рис. 3.5 (рис.1.2.1 из *[Растригин,1981]*).

Цель $Z^*$ адаптации определяет требования к критериям, заданным на состоянии $Y$ объекта. Эти требования могут иметь троякую структуру (...):

1. Критерии-неравенства: $\mathbf{H}(\mathbf{U}) = (h_1(\mathbf{U}),...,h_p(\mathbf{U})) \geq 0$ (1)

2. Критерии-равенства: $\mathbf{G}(\mathbf{U}) = (g_1(\mathbf{U}),...,g_s(\mathbf{U})) = 0$ (2)

3. Минимизируемые критерии: $\mathbf{Q}(\mathbf{U}) = (q_1(\mathbf{U}),...,q_l(\mathbf{U})) \to \min$ (3)

где: $h_i(\mathbf{U}) = \mathbf{M}_x h'_i(Y) = \mathbf{M}_x h'_i(F^0(X,\mathbf{U}))$ $(i = 1,...,p)$

$g_j(\mathbf{U}) = \mathbf{M}_x g'_j(Y) = \mathbf{M}_x g'_j(F^0(X,\mathbf{U}))$ $(j = 1,...,s)$

$q_k(\mathbf{U}) = \mathbf{M}_x q'_k(Y) = \mathbf{M}_x q'_k(F^0(X,\mathbf{U}))$ $(k = 1,...,l)$

$\mathbf{M}_x$ - оператор осреднения по $X$: $\mathbf{M}_x(\bullet) = \int (\bullet) p(X) dX$,

где $p(X)$ - плотность распределения состояний $X$ среды.

Очевидно, что критерии адаптации представляют собой функционалы, определенные на состояниях $Y$ объекта как средние значения функций $h'_i(\bullet)$, $g'_j(\bullet)$ и $q'_k(\bullet)$, которые должны быть заданы.

Цель адаптации заключается в решении задачи:

$$\mathbf{Q}(\mathbf{U}) \to \min_{\mathbf{U} \in S} \Rightarrow \mathbf{U}^*, \quad (4)$$

где: $S:\begin{cases}\mathbf{G}(\mathbf{U})=0\\ \mathbf{H}(\mathbf{U})\geq 0\end{cases}$ (5)

Задачи такого рода при заданных модели $F$ объекта $F^0$ и распределении $p(X)$ называют задачами стохастического программирования *[Юдин,1974]*, которые отличаются тем, что минимизируемые функционалы и функционалы ограничений являются стохастическими, т.е. математическими ожиданиями. Трудность решения этих задач очевидна.

Однако задачи адаптации осложняются ещё и тем, что нет модели $F$ объекта и отсутствует информация о распределении $p(X)$ состояний среды $X$. Более того, эти факторы изменяются во времени непредсказуемым образом.

Следовательно, даже располагая алгоритмом $\varphi$ решения задачи (4) с ограничениями (5) в виде

$$\mathbf{U}^* = \varphi(F, p(X)),$$

нельзя считать задачу решенной. Необходимо ещё идентифицировать изменяющийся объект $F^0$ и статистические свойства среды, чтобы получить

$$\mathbf{U}^* = \varphi(F_t, p_t(X))$$

где $F_t$ - модель объекта, а $p_t(X)$ - плотность распределения $X$.

Эти обстоятельства заставляют отказаться от попыток искать алгоритм $\varphi$ решения поставленной задачи адаптации, т.к. для сложного объекта адаптации зависимости $F_t$ и $p_t(X)$ весьма сложны, что исключает даже определение функционалов (1)-(3), образующих решаемую задачу (4).

Именно поэтому для решения задачи (4) приходится обращаться к алгоритмам адаптации, использующим лишь значения функций $h'_i(\bullet)$, $g'_j(\bullet)$ и $q'_k(\bullet)$ ($(i=1,...,p)$; $(j=1,...,s)$; $(k=1,...,l)$) в определенные моменты времени, т.е. в общем случае

$$\mathbf{U}_{N+1} = \psi(\vec{\mathbf{U}}_N, \vec{\mathbf{H}}'_N, \vec{\mathbf{G}}'_N, \vec{\mathbf{Q}}'_N),$$

где: $\psi$ - алгоритм рекуррентной адаптации,

$$\vec{\mathbf{U}}_N = (\mathbf{U}_N, \mathbf{U}_{N-1}, ..., \mathbf{U}_{N-W});$$
$$\vec{\mathbf{H}}'_N = (\mathbf{H}'_N, \mathbf{H}'_{N-1}, ..., \mathbf{H}'_{N-W});$$
$$\vec{\mathbf{G}}'_N = (\mathbf{G}'_N, \mathbf{G}'_{N-1}, ..., \mathbf{G}'_{N-W});$$
$$\vec{\mathbf{Q}}_N = (\mathbf{Q}_N, \mathbf{Q}_{N-1}, ..., \mathbf{Q}_{N-W});$$

а $\mathbf{U}_N, \mathbf{H}'_N, \mathbf{G}'_N, \mathbf{Q}'_N$ – значения адаптируемых параметров и измеренные значения функций:

$$\mathbf{H}' = (h'_1, ..., h'_p);\ \mathbf{G}' = (g'_1, ..., g'_s);\ \mathbf{Q}' = (q'_1, ..., q'_l)$$

в *N*-й момент времени; *W* - глубина памяти алгоритма адаптации $\psi$ » (*[Растригин,1981]*, стр. 28-30; см. также http://www.ipi.ac.ru/sysen/search/download.php?id=Rastrigin_adaptaciya.pdf).

•••••

Таким образом, предложенную Л.А.Растригиным трактовку «*адаптации как оптимизации в обстановке значительных помех*, связанных с грубостью оценки оптимизируемого функционала» (*[Растригин,1981]*, стр. 33) следует рассматривать просто как выбор им в качестве *механизма реализации адаптации* именно *механизма оптимизации* в указанных условиях, довольно характерных для сложных систем (см. также *[Растригин,1987]*, стр. 19). В силу высокой эффективности оптимизационных механизмов, в том числе и при их использовании для осуществления адаптации сложных объектов, рассмотрим их основные особенности подробнее.

### *3.4.3. Оптимизация и оптимальность*

Вот что пишет в посвященной этой проблематике специальной работе О.С.Разумовский: «Некоторые идеи и принципы оптимальности и оптимизации были развиты в теоретической биологии. В частности, американским математиком Н.Рашевским был сформулирован известный принцип оптимальной конструкции организма. Правда, это статический принцип, а для анализа оптимизации/пессимизации (соответственно стремления к наилучшему/наихудшему, сравн. с "оптимизм"/"пессимизм" – С.Г.) важна динамика. Найден же он был эмпирически, а не из теоретических соображений. Однако сфера его применения гораздо шире, чем биология – это и конструирование, и проектирование технических устройств, технологии и т.п. По-сути дела, это системно-структурный принцип оптимальности. Наряду с этим, принципы и методы оптимизации были применены Р.Розеном, М.Эйгеном и др. (они тоже Нобелевские лауреаты) для описания отбора в популяциях организмов при наличии статистических данных (Эйген), для описания динамики и функций биологических макромолекул и т.п. В науке были развиты идеи и модели

эволюционной оптимальности (и сооптимальности), целесообразности и адаптации систем к среде. Н.Н.Моисеев вообще развил мысль, что историю развития жизни на Земле можно изложить на языке многокритериальной оптимизации» (*[Разумовский,1998]*, см. также *[Разумовский,1990]*).

А вот что пишет по поводу упомянутого языка сам Н.Н.Моисеев: «Изучение особенностей самоорганизации живой природы показывает, что вместе с усложнением организации живых систем происходит нарастание противоречий между их стремлением к сохранению гомеостазиса, стабильности и тенденций максимизировать эффективность поглощения и использования внешних энергии и вещества. По-видимому, всю историю развития жизни на Земле можно было бы изложить на языке многокритериальной оптимизации. Не исключено, что разрешение противоречий между этими двумя основными тенденциями происходит по классическому образцу, установленному в теории исследования операций: спонтанно возникают те или иные свертки основных критериев, а естественный отбор загоняет систему в один из локальных экстремумов этого комбинированного критерия. Во всяком случае, история антропогенеза показывает, что подобная гипотеза не лишена определенных оснований. Итак, эволюция живого мира может изучаться под тем углом зрения, который свойственен теории исследования операций, главной задачей которой является изучение компромиссов: тогда наблюдаемое состояние той или иной системы – я имею в виду живые системы – оказывается всякий раз некоторым компромиссом. Заметим, что отыскание таких компромиссов происходит без участия интеллекта – принципы отбора сами формируют те механизмы, которые находят эти стихийные “алгоритмы эволюции”» (*[Моисеев,1987]*, стр.52-53).

Этим самым он сформулировал позицию, наиболее близкую (среди описанных в литературе) к предлагаемой в рамках настоящей концепции! Представление о многокритериальности здесь отражает не столько особенность объекта оптимизации – в системе природы критерий оптимизации *всегда* многокритериален, – сколько особенность её алгоритма, достаточно мощного для решения этой непростой задачи. Поскольку Н.Н.Моисеев, будучи математиком, рассматривает не поисковые, а «аналитические» алгоритмы оптимизации, то в данной постановке это представление, как представляется, формирует меньшее число вариантов моделирования, адекватно отражающих ситуацию, чем при включении в состав оптимизирующих средств также и поисковых. Тем не менее, вклад Н.Н.Моисеева в формирование основ теории «оптимизирующейся живой природы» невозможно переоценить!

Приведу некоторые мнения относительно проблемы оптимизации и оптимальности и ряда других ученых (более подробно эти проблемы рассматриваются ниже, в подразделе 4.3). Так, А.А.Ляпунов пишет: «Нередко приходится слышать, что живая природа организована оптимальным образом или что живой организм наилучшим образом приспособлен к условиям существования. Такие высказывания реального смысла не имеют. Дело в том, что можно говорить об оптимальности какой-то структуры, если точно известно, в каком смысле эта оптимальность понимается, т.е. каков критерий оптимальности и какие вариации системы считаются допустимыми. Если ни то, ни другое не зафиксировано, то термины “оптимальный” или “наилучший” точного смысла не имеют. Поэтому говорить о том, что организм определенным образом прилажен к той среде, в которой он существует, можно, но утверждать, что он устроен в каком-то смысле оптимальным, или наилучшим образом, нельзя» (*[Ляпунов, 1980]*, стр. 263). Конечно, если понимать под целью естественного отбора так называемый «критерий приспособленности» (критику этого см. ниже, в разделе 4), то А.А.Ляпунов совершенно прав. Если же эту цель определить несколько более конкретно, в частности – как «критерий энергетического характера», то в этом случае говорить об оптимальности можно вполне.

С другой стороны, А.Н.Горбань и Р.Г.Хлебопрос, обсуждая соотношение идей оптимальности и естественного отбора, настаивают на том, что: «коэффициент размножения в данных условиях – единая мера оптимальности» (*[Горбань,Хлебопрос,1988]*, стр. 15). Корреляция между этим коэффициентом и энергетикой организма, вообще говоря, просматривается, но чтобы показать это более определенно, необходим дополнительный анализ.

Точка зрения К.Фукс-Киттовского: «Как показал М.Эйген *[Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules // Naturwissenschaften, 1971, H.10]*, дарвиновский принцип отбора не представляет собой феномена, принадлежащего одной биосфере и недоступного дальнейшему анализу. Этот принцип можно рассматривать как принцип оптимизации, основанной на определенных физических предпосылках… Соответственно дарвиновский принцип отбора выступает как принцип оптимальности, преломленный в определенных физических условиях… Согласно Г.Бремерманну *[Bremermann H.J. On the Dynamics and Trajectories of Evolution Processes. Wien-Heidelberg-New York, 1972]*, явления эволюции могут исследоваться как процессы оптимизации, с помощью теории оптимального регулирования процессов, которая в наше время, подобно теории игр, получила глубокую математическую разработку» (*[Фукс-Киттовский,1980]*, стр.263-264). К сожалению, последнее не совсем точно: теория оптимального регулирования процессов, а тем более теория игр, рассматривают несколько иные предметные области, и используют довольно специфические языки, мало приспособленные для содержательных интерпретаций из области эволюции. То есть с мнением данного автора об их перспективности для изучения именно эволюции согласиться нельзя… Но основная его мысль верна: «дарвиновский принцип отбора», с не-

которыми оговорками, вполне можно интерпретировать как «принцип оптимизации» (подробнее см. ниже, подраздел 4.4).

Кроме того, необходимо указать, что следует отличать задачи, *сформулированные* в терминах *оптимизационного подхода* к моделированию систем «достаточно высокой сложности», от задач, *сформулированных* в иных терминах, но *использующих* алгоритмы оптимизации для решения своих локальных подзадач. Так, В.Г.Редько, описывая простейшую модель целенаправленного поведения (без памяти, но уже с мотивацией), отмечает: «Предположения модели Л.Е.Цитоловского *[Tsitolovsky L.E. (1997) A model of motivation with chaotic neuronal dynamics // Journ. of Biological Systems, V. 5. N.2, pp. 301-323]* состоят в следующем: 1) есть некоторое пространство поиска; 2) в пространстве поиска есть точки, которые соответствуют условиям гомеостаза (сочетанию оптимальных параметров для жизни организма); 3) если есть отклонения от гомеостатического оптимума, то цель организма – достичь оптимум; 4) организм ищет цель методом случайного поиска; 5) *амплитуда случайного поиска тем больше, чем больше отклонения от оптимума* (курсив автора – С.Г.). Цитоловский приводит пример с мокрицей (в ИНТЕРНЕТ-версии этого текста В.Г.Редько здесь и далее пишет: с червяком – С.Г.), которой требуется определенный уровень влажности. Если мокрица попадает в сухое место, то она начинает хаотически двигаться, и чем больше отклонение влажности от требуемого для жизни организма мокрицы, тем больше амплитуда случайных движений. В конце концов мокрица натыкается на влажное место (например, под камнем, где влага не высохла) и там успокаивается, – гомеостаз достигнут» (*[Редько,2001]*, стр. 129, см. также http://www.keldysh.ru/pages/BioCyber/Lectures/Lecture13/Lecture13.html).

По тексту уже понятно, что метод случайного поиска используется здесь в контексте решения не оптимизационной задачи, а задачи гомеостатики. И действительно, далее В.Г.Редько продолжает: «Покажем, как работает такой метод случайного поиска в простейшем случае одномерного пространства параметров. Считаем, что есть параметр $x$ , а организм ведет поиск оптимума некой функции $f(x)$. Скажем, для приведенного выше примера величина $f(x)$ характеризует влажность, а величина $x$ – расстояние от места с оптимальной влажностью…» *[там же]*. Дальше можно цитирование не продолжать, поскольку главное сказано: в данной постановке задачи Л.Е.Цитоловский предполагает, что расположение этого места «с оптимальной влажностью» *a priori известно*. А это и есть *уставка* (о которой говорилось выше, в подпункте 3.3.2.2), введение которой сразу переводит данную задачу в разряд достаточно частных задач *автоматического регулирования*. Использование для её решения именно *оптимизационного алгоритма* (в данном случае алгоритма случайного поиска), вообще говоря, несколько избыточно (хотя и вполне допустимо): можно было бы ограничиться и более простыми средствами, типичными для таких задач. С содержательных же позиций центральная проблема данного подхода все та же – остается неясным, кто (что) и каким образом задает эту уставку в рамках предлагаемой модели? Как представляется, уход от ответа на эти вопросы либо отнесение значения уставки к её *исходным* данным (начальным условиям) не способствуют росту доверия к результатам подобного моделирования.

•••••

В заключение данного подраздела приведу любопытное мнение о важности адаптивности как свойства сложных систем, высказанное специалистом в совсем иной области знания (экономистом): «Адаптивность приходит на место концентрации ресурсов в качестве ключевого ориентира государственной политики. Причем адаптивность гораздо важнее формальных показателей уровня экономического развития, измеряемого данными о среднедушевом ВВП» *[May,2002]*. Даже если подобная оценка отражает скорее желаемое, чем действительное, – в любом случае на определенные выводы данное высказывание наводит…

## 3.5. Энергетика как критерий оптимизации в системе природы

Важность *энергетики* для самого существования живого очевидна и общепринята. Говорят о важности этого понятия и для *объяснения* факта такого существования: «Сейчас ясно, что даже исчерпывающее описание происхождения жизни на молекулярном уровне, начиная с самых ранних стадий космической эволюции, хотя и, безусловно, углубит наше проникновение в живую природу, однако не будет вполне удовлетворяющим, поскольку не будет охватывать такие фундаментальные категории, как материя, энергия и незыблемые принципы, управляющие их взаимодействием» *[Кеньон,1975]*.

А поскольку, как известно, «принципы оптимальности есть проявление более общих экстремальных принципов» (*[Разумовский,1990]*, стр.10), обратимся к их рассмотрению.

### 3.5.1. Энергетика: экстремальные (вариационные) принципы

Вопрос об адекватности моделирования динамики биосистем с помощью экстремальных принципов энергетического характера широко обсуждается в литературе (см., например, работы *[Lotka,1925; Rashevsky,1960; Руденко,1969, 1971; Шварц,1969; Розен,1969; Зотин,1974; Зотин,Коноплев,1976; Новосельцев,1978; [Odum,Odum,1976(1978); Свирежев,Логофет,1978; Ханин,Дорфман,Бухаров,Левадный, 1977; Шноль,1979; природа моделей и модели природы,1986]*, а также философские труды *[Ассеев,1977; Сетров,1977; Митникова,1980; Борзенков,1988]*.

По мнению Н.Н.Моисеева, «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, т.е. мысленно возможных» (*[Моисеев,1986]*, стр. 70).

Существует ряд гипотез о виде таких энергетических критериев: это представления А.Лотки, А.П.Руденко, С.С.Шварца, Г.Одума и др. о максимизации полезного использования энергии в процессе прогрессивной эволюции, представления Н.Рашевского, М.А.Ханина и др. о минимизации энергетических затрат на поддержание и сохранение биосистем, и другие. По мнению Н.Ф.Реймерса, «…*принцип максимума эффекта внешней работы, закон саморазвития биосистем, или закон исторического развития биологических систем* был сформулирован Э.Бауэром в 1935 году: развитие биологических систем есть результат увеличения их внешней работы – воздействия этих систем на окружающую среду» (*[Реймерс,1992]*, стр. 135). Отмечу, что сам Э.С. Бауэр формулирует свой принцип *устойчивого неравновесия* всё же несколько по-иному: «… все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях … Мы обозначим этот принцип как *принцип устойчивого неравновесия живых систем*» *[Бауэр,1935]*. Здесь Э.С.Бауэр, помимо *энергетического* аспекта, указывает, пусть и косвенно, на проявление живыми системами и свойства *активности*: «исполняют... *постоянно* (курсив мой – С.Г.) работу…». Отмечу также, что и термин *неравновесие* корреспондирует с представлением о положительных обратных связях в управляющих системах, как раз и уводящих их из равновесных положений, а его определение *устойчивое* – с представлением о присутствии в них и отрицательных обратных связях. То есть принцип Бауэра – это утверждение, по своей глубинной сущности весьма и весьма близкое к предлагаемой в рамках настоящей концепции.

Обсуждая проблему химической добиологической эволюции каталитических систем, А.П.Руденко отмечает, что в основе явления саморазвития каталитических систем лежат четыре простейшие феноменологические закономерности: статистический, кинетический, генетический (информационный) законы, и «…*энергетический закон*. Длинные цепи эволюционных изменений могут осуществляться только в том случае, если происходит затрата энергии базисной реакции на эволюционные превращения, т.е. 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]*, стр. 41).

«Экологические правило» С.С.Шварца гласит: «каждое изменение условий существования прямо или косвенно вызывает соответствующие перемены в способах реализации энергетического баланса организма» (цитир. по *[Реймерс,1992]*, стр. 71). По-видимому, одним из примеров такой реализации является и описанная в работе К.Ю.Еськова: «В современной экологии существует достаточно хорошо обоснованная (в том числе и математическими моделями) концепция ***оптимального питания хищника***. Согласно ей, консумент стремится выбирать пищевые объекты таким образом, чтобы разность между *энергосодержанием пищи* и суммарными *энергозатратами на её добывание* оказывалась максимальной. Для каждого конкретного хищника существует определенный *размерный оптимум жертв*, с наибольшей частотой поедаемых им (лев питается в основном антилопами, хотя в составе его добычи могут оказаться и буйвол, и кролик). В свою очередь, у жертвы имеется целый ряд эволюционных стратегий, защищающих её популяции от выедания (увеличение скорости размножения, приобретение криптической окраски или ядовитости, и т.д.); экспериментально показано, что одной из таких стратегий является *уход за пределы размерного оптимума*» *[Еськов, 1999]*.

В свою очередь, Н.Н.Моисеев указывал: «Мне кажется, что особую роль в мировом эволюционном процессе играет *принцип минимума диссипации энергии* (курсив автора – С.Г.). Сформулирую его следующим образом: если допустимо не единственное состояние системы (процесса), а целая совокупность состояний, согласных с законами и связями, наложенными на систему (процесс), то реализуется то её состояние, которому отвечает минимальное рассеяние энергии, или, что то же самое, минимальный рост энтропии. Этот принцип следует рассматривать в качестве некоторого “эмпирического обобщения”» *[Моисеев,1987]*, стр. 27.

И.И.Свентицкий, настаивая на «общей биоэнергетической направленности структур и функций живых систем как основном законе самоорганизации живого» *[Свентицкий,2002]*, 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 её объекты, включая организм человека, энергоэкономны … В соответствии с законом выживания принцип "выживает сильнейший", этически неприемлемый для цивилизованного общества, логично заменить на вполне благопристойный и справед-

ливый с точки зрения прогрессивного развития общества и природы – "выживает энергоэкономный"» *[Свентицкий,2000]*.

Наконец, в обзорной работе, посвященной применению экстремальных принципов в математической биологии, её авторы приходят к выводу о том, что «следует констатировать огромное разнообразие мнений и подходов в попытках ответить на вопрос "Что экстремально в биологических системах?" Это разнообразие обязано как многоуровневости объектов биологии, так и отсутствию методологической унификации в выборе экстремальных принципов и ограничивающих экстремумы условий. Успешное развитие вариационного моделирования требует, по-видимому, решения методологических проблем: 1) разработка подходов к выводу, а не угадыванию целевых функций; 2) отказ от "домодельного" отбора ограничивающих экстремумы условий и замена его систематическими процедурами выявления реально лимитирующих развитие условий из всех потенциально возможных» *[Фурсова,Левич,Алексеев,2003]*. С подобным выводом трудно не согласиться.

### *3.5.1.1. Общий критерий эволюционной оптимальности М.А.Ханина*

Среди публикаций по данной проблематике имеются и такие, в которых критерий оптимальности вводится формально-математически. В частности, это делает М.А.Ханин в нескольких своих работах. Он пишет: «Понятие биологической оптимальности или, иначе говоря, оптимальности в эволюционном смысле, становится содержательным, если оно достаточно строго определено. Если это понятие также сформулировано в виде количественного критерия (т.е. установлены соответствующие алгоритмы, позволяющие определить оптимальные величины параметров), появляется возможность создания феноменологической теории оптимальных структурно-функциональных параметров. Общий критерий биологической оптимальности должен, очевидно, соответствовать дарвиновской теории естественного отбора, согласно которой в ходе эволюции выживают наиболее приспособленные виды» (*[Ханин,Дорфман,1977]*, стр. 128).

«Естественно определить оптимальную в эволюционном смысле величину структурного или функционального параметра $\alpha_{sl}^{*}$ следующим образом: если существует такое значение параметра $\alpha_{sl}^{(1)} = \alpha_{sl}^{*}$, что для любого $\alpha_{sl}^{(2)} \neq \alpha_{sl}^{*}$ выполняются условия: $\lim_{t\to\infty} x_s^{(2)}(t) = 0;\ \lim_{t\to\infty} x_s^{(1)}(t) > 0,$ то $\alpha_{sl}^{*}$ является оптимальной в эволюционном смысле величиной параметра $\alpha_{sl}$ »*[Ханин,1975]*.

«Сформулированное определение составляет основу критерия отбора. Алгоритм отыскания величины параметра, устанавливающейся в ходе естественного отбора, заключается в исследовании асимптотического поведения решений системы уравнений биоценоза, в рамках которой описывается динамика двух групп популяции, различающихся значением рассматриваемого параметра... Критерий отбора требует для своей реализации (весьма громоздких) численных методов интегрирования уравнений динамики биоценоза, или использования асимптотических методов теории нелинейных колебаний. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть формулировки критерия биологической оптимальности в более простом и удобном для применения виде (для определенных частных случаев)» (*[Ханин,Дорфман,1977]*, стр. 130).

Тогда «можно сформулировать частные виды критериев энергетической оптимальности биологических систем: ... минимум основного обмена (т.е. минимум мощности, потребляемой организмом в состоянии покоя), ... максимум к.п.д. организма как преобразователя химической энергии в механическую, максимум коэффициента усвоения пищи, минимум суммарной мощности, потребляемой системой транспорта кислорода при фиксированной функции этой системы (т.е. заданном нормальном потреблении организмом кислорода) и т.п.» (*[там же]*, стр. 134).

### *3.5.1.2. Концепция энергетического фактора направленности эволюции Н.С.Печуркина*

Рассматривая энергетические аспекты развития надорганизменных систем, Н.С.Печуркин пишет: «Поскольку развитие невозможно без использования потока энергии, любой процесс развития (эволюции, распространения) должен быть связан с возрастанием уровня использования энергетического потока... Обозначим через $H_{пад}$ величину потока падающей энергии, т.е. потока энергии, который потенциально может быть использован некоторой биологической системой. Примерами $H_{пад}$ являются поток солнечной энергии для автотрофов, количество органической пищи (в калориях), доступное для использования гетеротрофными звеньями в единицу времени. Не весь падающий поток энергии может быть захвачен и использован системой:

$$H_{исп} = H_{пад} - H_{неисп} \ . \qquad (1)$$

Сам поток энергии, захваченный системой, складывается из двух частей: доли, связанной с запасанием энергии в активной биомассе $B$, и потерь на организацию и поддержание, т.е. дыхание системы $R$:

$$H_{исп} = \mu B + R \qquad (2)$$

где: $\mu$ - показатель прироста биомассы (или обновления в стационарном состоянии открытой системы).

Объединив (1) и (2), получим общее соотношение для потоков энергии в систему и её трансформации в этой системе: $H_{пад} - H_{неисп} = \mu B + R$ .

Сформулируем теперь энергетический принцип экстенсивного развития (ЭПЭР) биологических систем в виде принципа максимального использования потока энергии:

$$H_{исп} \to \max \text{, или } \frac{dH_{исп}}{dt} \geq 0 \ .$$

Это означает, что вводится критерий и для внешних потоков $H_{пад} - H_{неисп} \to \max$ ,

и для внутреннего распределения энергии $\mu B + R \to \max$ .

Сформулируем данный энергетический принцип: в процессах биологического развития надорганизменных систем (эволюции, экологических сукцессиях и перестройках) величина использованного биологической системой потока энергии возрастает, достигая локальных максимальных значений в стационарных состояниях» (*[Печуркин,1982]*, стр. 46-48).

По мнению Н.С.Печуркина, «суть… принципа экстенсивного развития заключалась в возрастании способности захвата энергии живой системой. Так как живая система – автокаталитическая по своей природе, то самый простой и быстрый способ распространения и захвата (экспансии жизни) можно реализовать прежде всего за счет рождения себе подобных. Особенно ярко это проявляется при использовании новых ниш или при резком изменении условий существования (...) Таким образом, ЭПЭР свидетельствует лишь о количественном росте массы живой системы и использовании энергии во времени и пространстве. Как отмечал И.И.Шмальгаузен (*[Шмальгаузен И.И. Проблемы дарвинизма. М.: Наука, 1969]*, *стр. 427*), “объемным показателем биологического прогресса является увеличение численности, ведущее к расселению и расширению ареала распространения”.

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 А.Н. Главные направления эволюционного процесса (морфобиологическая теория эволюции). М.: Изд-во МГУ, 1967]*, *стр. 79-80*), являются одними из главных эволюционных изменений. При этом очень существенно, чтобы траты энергии на образование собственно биологической структуры и её содержание без выполнения других функций (типа основного обмена у животных) минимизировались. “Приспособления, снижающие потребность в энергии, имеют большее значение, чем повышение интенсивности размножения” (*[Шварц С.С. Общие закономерности, определяющие роль животных в биогеоценозах // Журн. общ. биол., 1967, т. 28, № 5, С. 510-522]*, стр. 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 (т.е. потребляют энергию наиболее эффективным образом)” (*[Odum,Odum,1976(1978)]*, стр. 118)» (*[там же]*, стр. 73-74).

Для «примирения» этих двух с виду противоречивых выводов Н.С.Печуркин вводит «как показатель отношение захваченной энергии $H_{исп}$ к тратам на содержание (обновление и поддержание) биомассы $\mu B$ – показатель уровня энергетического развития, характеризующий интенсивность использования энергии на единицу биологической структуры: $K_{и.р} = \frac{H_{исп}}{\mu B}$ . Для простых случаев (без учета возрастных структур и т.д.), когда между скоростью обновления биомассы и длительностью поколения $g$ существует связь в виде $\mu = \ln R / g$ , или $\mu = \ln 2 / g$ , т.е. когда за время генерации принимается время удвоения биомассы, можно записать: $K_{и.р} = \frac{H_{исп} g}{\ln 2 \cdot B}$ (для меняющегося потока $H_{исп} g = \int_0^g H_{исп}(t)dt$ , где $H_{исп}(t)$ – мгновенное значение потока энергии). Одним из наиболее интересных вариантов записи можно считать поток энергии на ген как единицу структуры за время существования гена $K_{и.р} = \int_0^g H_{исп}(t)dt / nh$ , где: $n$ - число генов; $h$ - траты энергии на “жизнь” самого гена. В любом из вариантов *энергетический принцип интенсивного развития (ЭПИР)* гласит: любая живая система надорганизменного уровня развивается (эволюционирует) таким образом, что поток использованной энергии на единицу биологической структуры (за время существования этой структуры) возрастает. Подчеркнем, что введенный показатель, отражая роль и функции, и структуры биосистемы, остается безразмерным, что немаловажно для сравнительного анализа» (*[там же]*, стр. 74-75).

«В биологии развития энергетический подход считается одним из важнейших *[Зотин,1974]* (...) В процессе эволюции интенсивность энергообмена существенно возрастает (...) от простейших (одноклеточных) к гомойотермным (теплокровным) животным более чем на два порядка – почти в 300 раз... налицо выполнение ЭПИР в эволюции (...) Пожалуй, наиболее примечательно то, что развитие надорга-

низменных систем согласно ЭПИР находится в явном противоречии с критериями эволюции, вытекающими из современного термодинамического анализа жизненных процессов. Основу термодинамических критериев составляет вывод о том, что удельное теплорассеяние должно быть невозрастающей функцией времени. Кинетический анализ развития гиперциклов и анализ кинетики роста микробных популяций приводят к другим выводам, которые более соответствуют развития жизни» (*[Печуркин,1982]*, стр. 77-78, 80).

Немаловажно, что указанные принципы выведены Н.С.Печуркиным на основе и исходя из результатов экспериментальных исследований популяций микроорганизмов, что «позволило хорошо изучить и качественно описать с помощью математических моделей многие кинетические закономерности развития микробных ассоциаций, в том числе эволюционные и экологические» (*[там же]*, стр. 16).

В заключение к своей книге Н.С.Печуркин делает вывод: «Ещё раз подчеркнем *направленность* (курсив цитируемого автора – С.Г.) процессов эволюции. Согласно обсуждавшимся энергетическим принципам, магистральное направление эволюции существует, и оно заключается в увеличении способности захватывать и использовать потоки свободной энергии (а на высших этапах и организовывать дополнительные потоки). Грубо говоря, в эволюции живые системы превращаются во все более совершенные машины, способные производить все большую работу на единицу структуры (веса, объема и т.д.) (...) Имеют место “эволюция механизмов эволюции”, ускорение процессов развития, смена действия одних частных и локальных факторов эволюции и причин *[Завадский,Колчинский,1977]*. Однако влияние энергетических принципов в непосредственно или опосредованной форме должно проявляться на всех этапах эволюции, демонстрируя её преемственность (но не постоянство скорости) и направленность» (*[Печуркин,1982]*, стр. 106-107).

Отмечу, наконец, что в редакторском предисловии к этой книге И.И.Гительзон констатирует: «…особенно ценно не само по себе рассмотрение жизни с энергетических позиций. Это правильно, но не ново. Наибольший интерес представляет стремление найти количественное выражение энергетической зависимости эволюции и вывести её 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]*, стр. 4). С позиций предлагаемой концепции последнее, безусловно, верно, но с единственным уточнением, что в качестве «элементарного шага отбора» должна рассматриваться некоторая *серия* поисковых шагов (в процессе иерархической поисковой оптимизации живого), а *не каждый отдельный* поисковый шаг (могущий приводить и к «локальному» проигрышу).

Таким образом, очевидно, что, несмотря на некоторые различия в подходах и в степени конкретизации модельных представлений, *в целом* концепция Н.С.Печуркина весьма близка к предлагаемой в настоящей работе. А сама идея *«энергетической» направленности* процессов эволюции является их общим базисным понятием.

### *3.5.1.3. Энергетическая оптимизация в экологии*

Приведу и другой пример формальной постановки задачи энергетической оптимизации. Это недавняя публикация П.А.Сорокина и А.С.Бугаева, посвященная экологическому аспекту данной проблемы. Они вводят, среди прочего, следующую терминологию: *«… 3. Оптимальная биомасса.* Оптимальная биомасса $e_j^{opt}(\theta_j)$ – оптимальная для данной особи величина биомассы. Это то значение биомассы, при котором особь максимально жизнестойка. Степень насыщения особи определяется в модели из условия, что особь стремится достичь оптимального значения биомассы.

*4. Максимальный дневной энергетический запас*

Максимальный дневной энергетический запас $\delta\, e_j^{\max}(\theta_j)$ – максимальная величина энергетического запаса, который особь может создать за один день. Если это значение достигнуто, дополнительная энергия не используется. Все эти характеристики зависят от типа особи. Сначала будем рассматривать тот случай, когда эти величины одинаковы для всех особей (нет различия между особями). С наступлением дневного времени суток, особь покидает гнездо в поисках пищи. За один день особь потребляет растительности не более предельного значения , которое определяется по следующей формуле:

$$(9)\qquad \delta\, e_{\tau_i}^{f}(\theta_j) = \min\left(\begin{array}{c}\max(\, e_j^{opt}(\theta_j) - e_j(\tau_i), 0),\\ \sum_{k=\tau_{i-1}}^{k=\tau_i-1}(\Delta E_T + \Delta E_m + \Delta E_E + \Delta E_f + \Delta E_F + \Delta E_c) + \delta\, e_j^{\max}(\theta_j)\end{array}\right)$$

Здесь и далее, $\tau_i$ – это итерация, соответствующая началу текущего дня. Смысл этого уравнения следующий. Особь стремится достигнуть оптимального значения биомассы. Питание происходит днем, ночь особь проводит в норе. Таким образом, минимальное значение биомассы приходится на начало дня. Чем меньше это значение биомассы, тем больше требуется особи восполнять свои энергозатраты. Но особь не может за один день восполнить энергетический запас неограниченно. Максимальная вели-

чина созданного за день энергетического запаса $\delta\, e_j^{\max}(\theta_j)$, энергия, выделяющаяся при переваривании растительности, идет не только на создание запаса, но и на восполнение непосредственных энергозатрат в течение дня. Сумма в формуле представляет собой энергозатраты за предыдущий день. Таким образом, если биомасса особи близка к оптимальной, она питается до восполнения разницы между оптимальной биомассой и минимальной дневной. Если биомасса на начало дня выше оптимальной, питание не требуется. Если же она существенно ниже, особь питается, пока не потребит количество растительности, необходимое для максимально возможного накопления запаса» *[Сорокин,Бугаев,2003]*.

• • • • •

В заключение данного пункта отмечу, что ни один из перечисленных в нем экстремальных принципов, к сожалению, не охватывает достаточно широкого круга явлений для построения модели системного биообъекта, адекватно описывающей его поведение в реальных условиях взаимодействия с себе подобными, а также с «над»- и «под»-объектами в иерархии.

### *3.5.2. Ещё об энергетике в биологии*

Обсуждая вопрос о физических и химических аккумуляторах энергии, С.В.Петухов пишет: «Вопрос о специфике видов энергии и переходных энергетических процессов в биологии очень важен и рассматривается во множестве монографий. Центральное внимание при этом отводится химической энергии, запасаемой в особом веществе – аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ). Она рассматривается как универсальный переносчик и основной аккумулятор химической энергии в клетках. Все процессы в организме, происходящие с аккумуляцией химической энергии, в конечном счете ведут к АТФ, часто уподобляемой валюте, которую можно потратить когда и как угодно.

Учитывая важность и разноплановость участия биосолитонов в самоорганизации и жизнедеятельности живого, нельзя не поставить вопроса о биосолитонах, как не химическом, а физическом виде энергии в организмах. Эта физическая – солитонная – энергия, видимо, также имеет характер валюты, то есть используется организмом в самых разных его местах и целях самым широким образом, например, при всевозможных биологических движениях. Между этими двумя видами энергетических валют должна существовать тесная взаимосвязь по механизмам энергетического взаимопреобразования и содружественного обеспечения жизнедеятельности организма. Другими словами, энергии АТФ и биосолитонов работают в одной связке, образуя единый аккумуляционно-транспортно-реализующий физико-химический механизм энергетики организма. В частности, вероятно, что физиологическое использование универсальной химической энергии АТФ реализуется также унифицированным образом через её трансформацию в солитонно-структурированную физическую энергию. Кстати, вариант такой трансформации энергии АТФ в энергию солитонного вибрационного возбуждения альфа-спирали белковой молекулы теоретически уже рассматривался (…) Энергетическими станциями" клетки считаются митохондрии в связи с их способностью сжигать питательные вещества с высвобождением запасенной в них химической энергии. Митохондрии предстоит внимательно исследовать для выявления особенностей участия физических – солитонных – видов энергии в их морфо-функциональной организации. Можно обоснованно подозревать, что они представляют собой активный клубок биосолитонов. Недаром для митохондрий характерна очень высокая формообразовательная активность, указывающая на вероятную деятельность биосолитонов в них: как известно, они могут расти, сжиматься, ветвиться и делиться за считанные минуты. Они могут принимать форму гантели, трубки, шара, ветки и т.д. Кроме того, митохондрии умеют сами для себя синтезировать белки и потому являются наиболее независимыми от клетки органеллами» (*[Петухов,1999]*, стр. 171-172).

Здесь речь идет о сравнительно новом объекте науки – солитонах, которые «…способны взаимодействовать друг с другом подобно заряженным частицам, размножаться и гибнуть, образовывать ансамбли с нетривиальной морфологией и динамикой пульсирующего и иного характера, преодолевать тенденцию к беспорядку в содержащих их "солитонных средах", и пр. Солитоны можно трактовать как специфическую форму организации физической энергии в веществе, и соответственно можно говорить о "солитонной энергии" по аналогии с известными выражениями "волновая энергия" или "вибрационная энергия". Солитоны реализуются как состояния особых нелинейных сред (систем) и имеют принципиальные отличия от обычных волн, представление о которых использовалось в прошлом для интерпретации волнообразных природных процессов. В частности, солитоны зачастую представляют собой устойчивые автолокализованные сгустки энергии с характерной формой одногорбой волны, движущейся с сохранением формы и скорости без диссипации своей энергии (а значит без нагрева среды). Поэтому естествоиспытатели прошлого, соприкасаясь с природными явлениями солитонного типа, в принципе не могли понять и объяснить их на базе классических представлений о волнах. Именно солитонный характер многих биологических феноменов, по нашему мнению, препятствовал в прошлом пониманию многих аспектов живой материи (*[там же]*, стр. 6).

Кстати говоря, возможную биосолитонно-кооперативную трактовку следует иметь в виду и при обсуждении вопроса о материальных носителях связей в тех или иных супраконтурах супрасистемы живого, реализующих их «дальнодействие» (т.е. *не* контактное взаимодействие) любого масштаба. Не ограничиваясь при этом сигнальной функцией химических веществ-экорегуляторов типа феромонов. Или,

например, – для внутриорганизменных связей – сигнальной функцией окиси азота NO, о которой известно следующее: «…недавно сделано удивительное открытие *[Hölscher, C. (1997) Nitric oxide, the enigmatic neuronal messenger: its role in synaptic plasticity, Trends Neuroscience 20, 298-303]*. Нейроны продуцируют газ NO (окись азота). Причем выделяются не отдельные молекулы, а целые небольшие "облака". Выяснилось, что NO является нейротрансмиттером, т.е. средством для передачи информации внутри мозга. В нейронах есть для этого газа специальные рецепторы, через них он стимулирует или подавляет активность нейронов. Обычные нейротрансмиттеры воздействуют через синапсы, а значит, только на ближайших соседей. Газ же диффундирует в виде облака, осуществляя, по-видимому, дальние связи» *[Левкович-Маслюк,2001]*.

## 3.6. Иерархия

### 3.6.1. Терминология

«***Иерархия*** (греч. ιεραρχεια, от ιεροζ – священный и αρχε – власть) – расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему… В общей теории организации иерархия характеризует принцип управления, обеспечивающий эффективное функционирование организации» *[Седов,БСЭ, 1972]*. Термин, первоначально введенный для характеристики организации христианской церкви, в дальнейшем был распространен на описание форм, существующих «во всех сферах объективной реальности: неорганической, биологической, социальной (властных структур, бюрократии и т.п.)» *[там же]*.

«***Иерархия*** у животных – система поведенческих связей между особями в группе, регулирующая их взаимоотношения и доступ к пище, убежищу, особям противоположного пола» (*[Биология,1999]*).

«***Иерархия*** вообще – это такое построение системы из подсистем, когда каждой подсистеме приписывается определенное целое число, называемое её *уровнем*, причем взаимодействие подсистем существенно зависит от разности их уровней, подчиняясь некоторому общему принципу. Обычно этот принцип – передача информации в определенном направлении (сверху вниз или снизу вверх) от данного уровня к следующему» (*[Турчин,2000(1977)]*, стр. 45).

«***Иерархическая*** *система* – это система с *многоуровневой* структурой в функциональном, организационном или каком-либо ином плане, образующаяся путем последовательного объединения множеств, содержащих более одного параметра» (*[Кузьмин,1996]*).

### 3.6.2. Общие свойства

Дж. Бернал обращает внимание на то, что «независимо от гипотез о последовательности стадий биопоэза, мы располагаем в биохимии и ультрамикроскопической цитологии конкретными данными о ступенчатом ряде структур возрастающей сложности. Структуры, которые мы наблюдаем или изучаем, не составляют непрерывного ряда, а образуют прерывистую последовательность. Каждый тип структуры складывается, очевидно, из единиц определенных размеров, которые вместе составляют новую единицу на следующем уровне (…) Вероятность образования структуры высшей сложности из её элементов возрастает, а число возможных путей её формирования уменьшается, если изучаемые структуры могут быть разложены на конечный ряд субструктур, последовательно включенных одни в другие» *[Бернал, 1959]*.

М.Месарович, Д.Мако и И.Такахара пишут: «Среди наиболее характерных черт иерархического порядка структур можно указать на следующие:

- Имеется различие на порядок величины в размерах характеристических элементов различных уровней.
- Что именно образует элемент данного конкретного уровня – зависит от интенсивности и типа взаимодействия, существующего на этом уровне…

Расплывчатость этих двух критериев ("порядок величины" и "интенсивность и тип взаимодействия") отчетливо свидетельствуют о трудностях, с которыми приходится встречаться при установлении такой иерархии структур, которая могла бы выдержать испытание временем… Существование иерархий в природе неоднократно обсуждалось многими авторами, хотя при этом лишь очень мало добавлялось к тому, что уже было известно, а именно, что иерархические структуры действительно существуют (...) ученый-экспериментатор не может извлечь из этого факта никакой выгоды для себя» (*[Mesarovic e.a., 1970 (1973)]*, стр. 49).

Обсуждая вопрос о недостающих звеньях между теорией систем и биологией, М.Месарович рассматривает проблему *многоуровневой (иерархической) организации подсистем с целенаправленным поведением*. Он указывает: «В классической биологии существует тенденция пренебрегать влиянием подсистем, находящихся на более высоких или более низких уровнях по отношению к рассматриваемому уровню. Биологи вынуждены соглашаться с этим, однако у многих из них такой подход вызывает большие опасения. Вот что пишет по этому поводу Гробстайн *[Grobstein C. Levels of Ontogeny. American Scientist, 1962, vol. 50, p.46-58]*: "Очарование, сила и все будущее биологии связаны именно с том, что она охватывает диапазон от молекул и до сообщества... с привлечением многоуровневого анализа". И далее: "Принципиальная задача состоит в том, чтобы понять процесс превращения свойств одного уровня в свойства другого; какой-либо простой способ экстраполяции от одного уровня к другому не может быть

логически обоснован". Можно утверждать (см. *[Bradley,1968 (1971)]*), что разработка теории многоуровневых систем совершенно необходима для достижения хоть какого-то сдвига в понимании сложных биологических организаций» (*[Mesarovic,1968 (1971)]*, стр. 112). Подобная точка зрения в целом представляется обоснованной, за исключением утверждения о невозможности логического обоснования «какого-либо простого способа экстраполяции от одного уровня к другому», в котором, правда, неясно, что понимать под *простым* способом. Возможно, что части биологов предлагаемый для этого в настоящей работе «способ» иерархической поисковой оптимизации и в самом деле покажется непростым…

Попытки моделировать иерархические структуры, используя различные «уровни разрешения», каждому их которых присущи свои, весьма характерные особенности, всегда сталкивались с огромными трудностями. Это отмечалось ещё на первых этапах развития общей теории систем и системного подхода: «Любая информация на данном уровне органически связана со своим "контекстом", с обширным другим материалом, который хорошо знаком специалисту, исследующему именно этот уровень, но лишь с трудом усваивается специалистами по другим уровням. Поэтому эти последние обычно в состоянии оценить лишь часть следствий, которые они получают с других уровней. Это может в ряде случаев создавать определенные трудности, что, впрочем, зависит от того, как использовать эти "вырванные" из своего уровня и своего "контекста" данные» (*[Bradley,1968 (1971)]*, стр. 63).

В своих «Заметках о редукционизме» С.В.Мейен отмечает, что сторонники эмерджентной эволюции допускают «подвижность и размазанность границ между уровнями (организации биосистем – С.Г.)» *[Мейен,2001]*, и тут же формулирует проблему: «Надо не только разобраться с критериями выделения уровней, но и выяснить меру их самостоятельности. Если уровни не составляют некоторое конечное число, то как с ними работать и есть ли вообще в них рабочий смысл» *[там же]*. И далее, ссылаясь на мнение М.Бунге, приходит к выводу, что «редукционизм – не более чем некая программа, теоретический идеал (…) Вслед за И.А.Акчуриным *[Акчурин И.А. Единство естественнонаучного знания. М., 1974]*, считаю уровни организации частным случаем уровней системности. Каждому уровню системности отвечает определенная типология объектов…, взятая в определенном временном срезе или развивающаяся во времени, если понятие времени в принципе приложимо к данному уровню системности… Полное познание объекта означает его введение в необходимое и достаточное количество уровней системности. Слова "необходимое" и "достаточное" соответствуют "бритве Оккама" и "принципу достаточного основания" Лейбница». Традиционный редукционизм обычно помнит о "бритве Оккама" и забывает о "достаточном основании". Традиционный ирредукционизм делает обратное. Синтез этих антитез означает исчисление уровней системности. К сожалению, инструмента для исчисления этого нет и, видимо, не может быть (? – С.Г.). Мы можем действовать лишь эмпирически, отталкиваюсь от имеющихся типологических построений и исторических реконструкций, совершенствуя те и другие…, все более и истиннее реконструируя историю, попутно редуцируя все редуцируемое, не опасаясь введения "новых сущностей", когда редукция не удается» *[там же]*. Как представляется, предлагаемая концепция может выступить в роли упомянутого инструмента.

### *3.6.3. Связь иерархии с проблемами регуляции и управления*

Говоря об установлении иерархического соподчинения управляющих систем, А.А.Ляпунов формулирует: «Мы будем считать одну управляющую систему системой более высокого уровня по отношению к другой, если функционирование первой приводит к изменению состояния (так сказать, настройке) другой» (см. *[Ляпунов,1980]*, стр. 212).

БСЭ констатирует, что «…живые существа объединяются в системы разного порядка (популяции, биоценозы и т.д.), образуя своеобразную иерархию живых систем. Во всех этих надорганизменных системах, как и в жизни клетки, развитии организма, эволюции органического мира в целом, имеются внутренние механизмы регуляции, для изучения которых также применимы принципы и методы биологической кибернетики» *[Парин,Геллер,БСЭ,1973]*.

ИНТЕРНЕТ-сайт Principia Cybernetica приводит «закон необходимой иерархии», который предложил А.Олин (Arvid Aulin): «Чем слабее средняя регулирующая способность и чем больше средняя неопределенность имеющихся регуляторов, тем большее число уровней иерархии необходимо при организации регулирования и управления для достижения того же самого результата… другими словами, недостаток регулирующей способности может быть в определенной степени компенсирован увеличением числа уровней иерархии в организации» (см. *[Joslyn,1995]*). В принципе, это утверждение представляется небезынтересным. Но для системы живого, скорее всего, имеет смысл вытекающее из предлагаемой концепции обратное утверждение: «идеальная последовательность уровней в иерархии системы живой природы определяет идеальную последовательность оптимизирующих способностей составляющих их биообъектов», которое по аналогии можно было бы назвать «*законом необходимой оптимизационности*».

Рассматривая вопрос о структурных уровнях организации материи, В.Ф.Турчин отмечает: «Любая сложная система, возникшая в процессе эволюции по методу *проб и ошибок*, должна иметь иерархическую организацию. Действительно, не имея возможности перебрать все мыслимые соединения из не-

скольких элементов, природа перебирает соединения из нескольких элементов, а найдя полезную комбинацию, размножает её и использует как целое в качестве элемента, который может быть связан с небольшим числом других таких же элементов. Так и возникает иерархия. Это понятие играет огромную роль в кибернетике. Фактически всякая сложная система, как возникшая естественно, так и созданная человеком, может считаться организованной, только если она основана на некой иерархии или переплетения нескольких иерархий» (*[Турчин,2000(1977)]*, стр. 51; текст этой же цитаты с некоторыми искажениями приводится в *[Айламазян,Стась,1989]* на стр. 46 – правда, почему-то без ссылки на автора…). Критика этой точки зрения – в части использования в данном контексте неудачного, с моей точки зрения, термина «метод *проб и ошибок»* – приводится ниже, в разделе 4. Относительно же оценки очередности «ходов» живой природы – *вначале* поисковый оптимизационный процесс, а *затем* иерархия как его результат и средство повышения его эффективности – я полностью солидарен с В.Ф.Турчиным.

Обсуждая проблему иерархии в современных многоуровневых *технических* системах, Ю.П.Саламатов отмечает, что «*иерархический принцип организации структуры…* заключается в упорядочении взаимодействий между уровнями. Каждый уровень выступает как управляющий по отношению ко всем нижележащим и как управляемый, подчиненный, по отношению к вышележащему... Абсолютно жестких иерархий не бывает, часть систем нижних уровней обладает меньшей или большей автономией по отношению к вышележащим уровням. В пределах уровня отношения элементов равны между собой, взаимно дополняют друг друга, им присущи черты самоорганизации (закладываются при формировании структуры). *Возникновение и развитие иерархических структур не случайно, так как это единственный путь увеличения эффективности, надежности и устойчивости* (курсив автора – С.Г.) в системах средней и высокой сложности. В простых системах иерархия не требуется, так как взаимодействие осуществляется по непосредственным связям между элементами. В сложных системах непосредственные взаимодействия между всеми элементами невозможны (требуется слишком много связей), поэтому непосредственные контакты сохраняются лишь между элементами одного уровня, а связи между уровнями резко сокращаются» *[Саламатов,1996]*. И с этой позицией вполне можно согласиться.

### *3.6.4. Иерархические представления в биологии*

Отмечу, прежде всего, что в биологической науке проблема вычленения основных иерархических уровней организации живой материи поставлена уже довольно давно (см., например, обзоры в *[Кремянский,1969], [Жирмунский,Кузьмин,1982]*). Я имею в виду так называемую *пространственную иерархию* (термин Л. фон Берталанфи *[Bertalanffy,1952]*), при которой соответствующие уровни включают друг друга подобно «матрешке».

«Сам *принцип иерархической организации, или принцип интегративных уровней*, в биологии и экологии принимается как аксиома или эмпирически наблюдаемый факт» (*[Реймерс,1992]*, стр.57).

Роль уровня организации живого как компоненты регуляторных систем также достаточно общеизвестна. В частности, процитирую соответствующий фрагмент фундаментальной работы Т.Уотермена: «Внешнее управление на всех уровнях, от молекулярного до экологического и эволюционного, в принципе обладает одинаковыми фундаментальными свойствами. Основу организма составляет энергетическая компонента с внутренним управлением. На неё накладываются два или более уровней внешнего управления, начиная с генетически регулируемых механизмов синтеза, обеспечивающих возможность индивидуального развития и воспроизведения. Для простейших организмов следующий и в то же время самый внешний уровень составляет эволюционное управление, определяемое генетической устойчивостью, мутационным процессом, взаимодействием между организмом и средой и естественным отбором. Для более сложных организмов этот уровень также остается самым внешним, однако здесь он отделен от первого уровня одной или несколькими дополнительными системами: управлением на клеточном, надклеточном, организменном уровнях, на уровне сообщества и, возможно, на каких-либо других уровнях. Заметим, что взаимодействие во времени и в пространстве между разными уровнями, так же, как и почти повсеместно распространенное саморегулирование («реафферентация») в пределах каждого данного уровня управления, значительно повышает сложность живого организма и его способность к адаптации» (*[Waterman,1968-1971]*, стр. 25).

В качестве критериев классификации уровней организации живой материи чаще всего выступают «характер специфических взаимодействий компонентов и отчетливые особенности взаимоотношений с ниже и выше лежащими системами» *[Баев,БСЭ,1977]*. Но, в зависимости от своего собственного понимания существа такого критерия и области своих интересов, те или иные авторы предлагали свои варианты классификации:

4 уровня – клеточный, тканевый, организменный, социальный *[Virchow,1862]*;

6 уровней – клетки, ткани, органы, системы органов, организмы, популяции *[Novikoff,1945]*;

11 уровней, в том числе 8 биологических – поле/плазма, элементарные частицы, атомы, молекулы, агрегаты молекул/мицеллы, коллоиды, клетки, ткани, органы, организмы, колонии/сообщества живых организмов *[Bertalanffy,1952]*;

6 уровней – макромолекулярный, клеточный, организменный (многоклеточный индивид), видовой, биоценотический, живого вещества Биосферы в целом *[Завадский,Франк,1960]*;

5 уровней – организм, популяция/вид, биоценоз, биогеографическая область, Биосфера *[Завадский,1961]*;

6 уровней – макромолекула, клетка, ткань/орган, организм, сообщество, экологическая среда *[Leake,1961]*;

11 уровней – молекулярный, органоидный, клеточный, органно-тканевый, системы органов (корреляты), организменный, семейно-стадный (репродукционный), популяционный, видовой, межвидовой (ценотический), биостроматический (живое вещество планеты) *[Ушаков,1963; Лавренко,1965]*;

6 основных уровней – молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биоценотический, Биосферный *[Астауров,Гайсинович,Нейфах,Тимофеев-Ресовский,Яблоков,БСЭ,1970]*;

4 основных уровня – самоорганизуемые комплексы макромолекул, клетки, многоклеточные (животные), семейно-стадные группы (высших животных) или надорганизменный уровень *[Веденов,Кремянский,Шаталов,1972]*;

5 уровней – одноклеточные организмы, многоклеточные организмы, популяции, биоценозы, Биосфера *[Амосов,1974]*;

6 уровней – ген, клетка, орган, организм, популяция, сообщество *[Одум,1975]*;

8 уровней – клетки, ткани, органы, организм, группы (стада, семьи, трибы и т.п.), сообщества групп, общества, «сверхнациональные» системы *[Miller,1975]*;

4 уровня – организм, популяция особей, биоценоз, Биосфера *[Сетров,1975]*;

9 (3 тройки) уровней – а) молекулярно-клеточная ступень (молекулярный, органоидов клетки, клеточный), б) организменная ступень (тканевый, органный, организменный), в) надорганизменная ступень (популяционно-видовой, сообществ (биоценозов), Биосферы) *[Наумов,1977]*;

4 основных уровня – молекулярный, организменный, популяционно-видовой, биоценотический (Биосферный); более детализированная классификация включает клеточный, тканевый и другие уровни *[Баев,БСЭ,1977]*;

7 уровней – молекулярный, субклеточный, клеточный, тканевый, органный, организменный, популяционный *[Глушков,Иванов,Яненко,1979]*;

7 уровней – молекулярный, клеточный, органный (тканевый), систем органов, организменный, популяционный, биоценотический *[Угодчиков,1985]*;

4 уровня – клеточный, организменный, популяционный, биоценотический *[Ростопшин,1986]*;

7 уровней – живая молекула (протоплазма), клетка, организм (особь), вид (популяция), биоценоз, биогеосфера *[Афанасьев,1986]*;

8 уровней – гены, клетки, ткани, органы, организмы, популяции, сообщества, биосфера (*[Green,Stout,Taylor, 1989-1996]*, том 2, стр. 78)

5 биологических уровней из 7 – молекула, клетка, организм, популяция/вид, живое вещество (плюс дополнительно атом и Космос) *[Фролов,1992];*

10 биологических уровней из 14 – первично-ассоциативный, вторично-ассоциативный, организменный, популяционно-видовой, ценозный, консорционный, биогеоценотический, биогеоблоковый, геоблоковый, фазово-планетарный (плюс дополнительно атомарный, молекулярно-кристаллический, планетарно-космический и галактический), и 21 биологический подуровень – органелла, клетка, ткань, орган, система органов, пара «индивид-особь», пара «репродуктивная группа-семья», пара «дем (микропопуляция)-популяционная парцелла», пара «популяция-экологическая популяция», пара «трофический уровень-биоцены (фитоцены, зооцены и т.д.)», пара «пищевая цепь-синузия», пара «трофическая сеть-популяционная консорция», пара «экологическая пирамида-биогеоценотическая парцелла», пара биоценоз-биогеоценоз (экосистема)», пара «биоценомический тип-биокомплекс», пара «региональная биота-биолокус», пара «биобиом-биозона», биоорбис, царство, подсфера биосферы (террабиосфера и др.), Биосфера; при этом перечисленные уровни и подуровни объединяются в 7 «надуровней» – Элементарно-системный (атомарно-молекулярный), Первично-системный, Организменно-групповой, Ассоциативный, Блоково-экосистемный, Планетарный и Космический *[Реймерс,1983;1992, стр. 38-39];*

7 уровней организации жизни (живой материи) – молекулярный, клеточный, органно-тканевый, организменный, популяционно-видовой, ценотический (биоценотический), биосферный *[Андреев и др., 1999]*;

8 уровней организации живой материи – молекулярный, субклеточный (надмолекулярный), клеточный, органотканевый, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический (биоценотический), биосферный; в качестве основных уровней предлагается рассматривать 4: молекулярно-генетический (элементарная единица – ген, элементарное явление – конвариантная редупликация, внутриклеточный перенос генетической информации), организменный (организм/особь и дифференцировка соответствен-

но), популяционно-видовой (популяция и изменение генотипического состава популяции соответственно), и биогеоценотически-биосферный уровни (биогеоценоз и этапы круговорота веществ соответственно) (см. *[Биология,1999]*, стр. 67 и 659-660).

Этот список можно было бы продолжать и продолжать, но тенденция уже очевидна:

- ✓ все варианты достаточно близки друг к другу, что свидетельствует о сравнительно высокой степени их *адекватности* эмпирическим фактам;
- ✓ иногда одно и то же издание и даже один и тот же автор предлагают несколько отличные варианты, что свидетельствует о высокой степени *субъективности* в подходах;
- ✓ практически все варианты включают в себя как «первичные и универсальные системы, так и вторичные и частные» *[Завадский,1966]* (т.е. не делается различия между *основными* и *промежуточными* уровнями организации живого), что, естественно, вызывает их перекрестную критику;
- ✓ все варианты предложены (и обосновываются) на основе лишь *качественных* соображений.

Тем не менее, сравнительный анализ их дает необходимый исходный материал для формирования на базе соответствующих количественных соображений новой классификации уровней интеграции живого, учитывающей, в том числе, и операциональное различие между основными и промежуточными уровнями организации живого. Но не только это. В частности, в *[Биология,1999]* совершенно справедливо указывается, что «почти все конкретные задачи биологии касаются одновременно нескольких уровней, а нередко и всех сразу. Например, проблемы эволюции или онтогенеза не могут рассматриваться только на уровне организма, т.е. без молекулярного, субклеточного, клеточного, органотканевого, а также популяционно-видового, биогеоценотического уровней» (стр. 660). Но где же можно ознакомиться с результатами таких рассмотрений?

Настоящая работа как раз и является попыткой подобного «супрасистемного» взгляда на указанные проблемы.

### *3.6.5. Иерархия времен*

Обсуждая вопрос об иерархии времен и цитируя Дж.Фрэйзера, Ф.Тернер и Э.Пёппель приводят следующий текст: «Новая научная парадигма разработана Международным обществом по изучению времени. Вот её важнейшие постулаты:

1. Понимание действительности в самой своей основе невозможно без понимания времени.
2. Время не является неделимым – оно составное.
3. Время представляет собой иерархию все более и более сложных временных протяженностей (temporalities).
4. Становление наиболее сложных временных протяженностей – это часть общей эволюции Вселенной; в каком-то смысле эта эволюция и состоит в эволюции времени.
5. Иерархичность времени, каким мы его знаем, отражает и воплощает различные фазы его эволюции *[Fraser J. T. (1975). On time, passion, and knowledge. Braziller, New York. Eraser J.T., Lawrence N., Whitrow G.J. (eds.) (1972, 1975, 1978). The study of time, vols. I-III. Springer, New York]*» *[Тернер,Пёппель]*.

Тот факт, что два этих постулата из пяти имеют непосредственное отношение к иерархии, указывает на важную роль последней в понимании сущности самого понятия времени.

Но имеется и иной, существенно более практический, аспект роли временной иерархии. Так, в книге *[Рубин,Пытьева,Ризниченко,1977]* авторы задают вопрос: «В каких случаях, не утрачивая основных свойств моделируемого объекта, можно сократить исходное число переменных и тем самым упростить модель?» И далее отвечают на него: «Эта проблема оказывается относительно легко разрешимой в случае, когда в системе имеет место так называемая *иерархия времен* (курсив мой - С.Г.); совместно протекающие процессы сильно отличаются по своим характерным временам. Для группы быстро изменяющихся переменных можно не записывать дифференциальных уравнений, поскольку они практически мгновенно по сравнению с остальными более медленными достигают своих стационарных значений. Тогда для быстрых переменных вместо дифференциальных уравнений, описывающих их поведение во времени, можно записать алгебраические уравнения, определяющие их стационарные значения. Эти значения быстрых переменных могут быть подставлены в дифференциальные уравнения для медленных переменных в качестве параметров. Таким образом, осуществляется редукция, т.е. уменьшение числа дифференциальных уравнений полной системы, которая теперь будет включать лишь медленные переменные, зависящие от времени» (*[там же]*, стр. 93). Соответствующие эффективные математические методы, и в частности – метод квазистационарных концентраций, получили широкое распространение и строгое математические обоснование – известную «теорему А.Н.Тихонова, устанавливающую условия, при которых возможна редукция системы уравнений, переменные которой изменяются с различными характерными временами» (*[там же]*, стр. 94).

Об этом же ранее писал и Б.Гудвин: «*Время релаксации* – это, грубо говоря, время, необходимое для того, чтобы переменные возвратились к своим стационарным значениям после некоторого “малого” возмущения… Если времена релаксации в двух системах различаются очень сильно (например, в 100 раз), то во время изменения переменных “медленной” системы (с большим временем релаксации) “бы-

струю” систему (с малым временем релаксации) можно рассматривать как систему, находящуюся в стационарном состоянии. Тогда, с одной стороны, в динамические уравнения медленной системы войдут лишь стационарные значения переменных быстрой системы, и число переменных резко уменьшится. С другой стороны, переменные “медленной” системы войдут в уравнения “быстрой” системы как параметры, а не как переменные. Вообще говоря, эти параметры будут медленно изменяться, вызывая медленные изменения быстрой системы во времени; однако при изучении динамики быстрой системы на алых отрезках времени переменные медленной системы можно рассматривать как параметры среды. Таким образом, временной критерий, позволяющий отличать одну систему от другой, будет достаточно строгим только в том случае, если времена релаксации этих двух систем существенно различны» (*[Гудвин,1966]*, стр. 36-37).

Подобный подход довольно широко реализуют на практике, причем аргументируя это по-разному. Так, в книге *[Крапивин,Свирежев,Тарко,1982]* авторы пишут: «…на биологическом уровне организации материи свойства организмичности исчерпываются довольно быстро. Даже самый простой биоценоз уже организмом (системой, имеющей собственные цели и определенные возможности их достижения) не является (? – С.Г.). В этом случае мы можем обойтись без учета механизмов обратных связей и ограничиться только законами сохранения и некоторыми агрегированными описаниями функций поведения, которые теперь фигурируют в виде тех или иных параметров уравнений, описывающих трофические функции (или функции конкуренции)» (*[там же]*, стр. 13). (Отмечу в скобках, что «обойтись без учета механизмов обратных связей» в данном случае можно не потому, что «биоценоз не является организмом», а потому, что изучаются процессы на отрезках времени, существенно меньших времен изменения этих обратных связей. А в иных случаях обойтись без этих механизмов – не теряя адекватности модели – явно нельзя, что немедленно возвращает нас к вопросу о наличии/отсутствии у биоценозов/биогеоценозов свойства организмичности в указанной формулировке…).

Таким образом, исходя из понимания «задачи исследователя как построения модели явления, содержащий возможно меньшее число переменных и произвольных параметров и в то же время правильно отражающей основные свойства этого явления» (*[Рубин,Пытьева,Ризниченко,1977]*, стр. 92), исследователю рекомендуют отказаться от одновременного рассмотрения двух (и более!) существенно «разновременных» процессов. Ну, а если поставить задачу наоборот: «Никакой редукции, и да здравствует сосуществование в модели множества разновременных процессов»? Тогда мы, естественно, столкнемся с проблемой разрешимости и представимости результатов таких сложных моделей – но это неизбежная «плата» за возможность исследования моделируемого объекта «достаточно высокой сложности». Причем исследования не «по типовым временным срезам», т.е. отдельно медленных процессов, затем отдельно – более быстрых, затем – ещё более быстрых, и т.д., с последующей – достаточно проблематичной – «склейкой» частных результатов в некоторое, более или менее единое целое. А исследования в их, пусть и модельно упрощенном, но *единстве*. В настоящей работе я двигался именно по такому пути.

### *3.6.5.1. О характерных временах*

В литературе довольно часто используется словосочетание «характерное время». А.А.Ляпунов определяет его как: «Характерное время – это время, в течение которого автономность объекта в целом нарушается мало, а состояние, обусловленное его развитием, может изменяться достаточно существенно» (*[Ляпунов,1980]*, стр. 225). В БСЭ используют формулировку: «характерное время, в течение которого существенно меняются средние значения физических величин в этой системе» *[Завьялов,БСЭ,1974]*. То есть вводится это понятие весьма расплывчато, через туманные определения «достаточно существенно» и «существенно».

А.Д.Арманд дает следующее разъяснение: «Понятие “характерное время” призвано дать представление об относительной скорости протекания изучаемых явлений (…) Чем больше характерное время, тем меньше скорость. Выбор единицы времени в науках о Земле *[Арманд А.Д., Таргульян В.О. Принцип дополнительности и характерное время в географии // Системные исследования. М., 1974. С. 146-153]* в большой степени зависит от характера изменений. Проще всего выделение основной единицы происходит в тех случаях, когда на необратимый процесс накладываются гармонические колебания или какой-то циклический процесс. Период одного полного цикла … при этом обозначается термином “характерное время”. Время, в котором протекают все биосферные процессы, естественным образом расквантовано геофизическими циклами на сутки, месяцы (лунные), годы и другие периоды. Если процесс имеет асимптотический характер …, то за меру интенсивности затухания процесса принимается время, потребное для уменьшения параметра вдвое или в $e = 2,72...$ раза (время релаксации). Так, характерным временем превращения радиоактивных элементов считается период полураспада. Временем снижения гор и возвышенностей наполовину можно измерять скорость денудации, выравнивания рельефа. Процессы, идущие с ускорением по закону, близкому к параболическому, описываются характерным временем, равным времени удвоения представляющей этот процесс величины. Этим показателем удобно характеризовать, например, рост населения Земли или популяции животных, происходящих от одного предка. Менее однозначно определяется характерное время для комплексных процессов, описываемых, например, кривой в форме затухающих колебаний … или в форме чередующихся асимптот …, или в

форме наложенных гармонических колебаний …. Очевидно, здесь каждый элементарный процесс, входящий в состав комплексного, может описываться своим характерным временем. Единой меры скорости для таких сложных явлений, как изменение климата, почвообразование или социальный прогресс, не существует, их может быть много. Поэтому употребление понятия “характерное время” в этих случаях должно сопровождаться пояснениями, какие изменения имеются в виду. Большинство природных процессов подчиняется ритмам, которые, однако, не строго следуют закону гармонических осцилляций, а несут в себе и случайную составляющую. В качестве характерного времени в этих случаях приходится брать средний период колебания, средний период релаксации или удвоения» *[Арманд,1996]*.

И действительно. В литературе описываемый процесс (для которого вводят понятие «характерное время») часто рассматривают и как колебательный, но иногда – и как имеющий асимптотический (инерционный) характер.

Колебательные явления вообще чрезвычайно распространены как в живой, так и в неживой природе. «Говорят, что природа не терпит пустоты, но очень любит ритм и цикличность» *[Goldacre,1960]*. Но на кардинальный, почти философский вопрос, о внутренних причинах широчайшей распространенности колебательных явлений в природе до сих пор нет убедительного ответа. По этому поводу имеется лишь ряд размышлений и гипотез *[Блехман,1981]*. Так, например, А.М.Молчанов высказывает мысль, что колебания являются характерной чертой всякого биологического «индивида»: «Лучше всего представлению об индивиде, как о системе, которая, с одной стороны, сохраняет свое строение, а с другой – способна к внутреннему движению, отвечают поэтому колебательные системы» *[Молчанов,1967]*.

С точки зрения А.М.Жаботинского, колебательный (в частности, автоколебательный) характер многих процессов в биохимических системах обусловлен просто наличием в них соответствующих (как правило, нелинейных) взаимных зависимостей между переменными *[Жаботинский,1974]*.

Но, по мнению И.И.Блехмана, «колебательные системы и процессы характеризуются определенной оптимальностью; поэтому, по-видимому, существует некоторый общий принцип, действующий при достаточно широких условиях, в силу которого природа «предпочитает» именно колебания. Несомненно, установление такого принципа представляет интересную и важную задачу» *[Блехман,1981]*.

Подобные представления достаточно близки к предлагаемым, если принять, что упомянутый И.И.Блехманом принцип можно интерпретировать как принцип *активного поискового* поведения биообъектов всех уровней интеграции живого, необходимо проявляющегося в их перманентных «рысканиях», или «колебаниях», вокруг точки их «усредненного текущего состояния».

Итак, к первой «колебательной» группе определений характерного времени можно отнести следующие: «…характерное время движения в системе (например, период обращения в системе двойной звезды)» (*[Новиков,БСЭ,1977]*, стр. 420) «…характерное время $\tau_{вращ}$ вращательного движения молекул фосфолипидов, жирных кислот в природных мембранах составляет $\tau_{вращ} \sim 10^{-9}$ с» (*[Рубин,1998б]*, лекция 13), «…смена поколений происходит за двадцать лет, это и есть характерное время потери знаний» *[Сурдин,2003]*, и т.д. К второй «релаксационной» группе относятся: «…характерное время установления равновесия (время релаксации)» *[Полякова,БСЭ,1974]*, «…характерное время релаксации, в течение которого система "успокаивается": все течения в ней затухают, все напряжения исчезают, система возвращается в устойчивое состояние» *[Иванов,2000]*, «…характерное время установления равновесной концентрации» *[Галанин,БСЭ,1978]*, и т.д.

В рамках предлагаемой концепции оба употребления этого термина находят свое место. Причем превалирует *колебательная* трактовка, поскольку процессы поисковых «рысканий», находящиеся в центре внимания поискового оптимизационного подхода, просто напрашивается интерпретировать как *колебательные*. А соотнесение между собой пары процессов, относящихся к различным уровням в иерархии (темпы которых даже для смежных уровней различаются на порядок и более), дает основание в необходимых случаях интерпретировать более медленный из них (и относящийся к высшему уровню в иерархии) как *релаксационный*. Имея в виду позицию Б.Гудвина: «Обычно принимают, что для перехода системы в новое равновесное состояние после изменения её параметров нужно время, по крайней мере в 10 раз большее, чем её время релаксации» (*[Гудвин,1966]*, стр. 158), рассмотрим этот вопрос более подробно.

### *3.6.5.2. О концепции А.В.Жирмунского и В.И.Кузьмина*

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 биологических процессов соотносятся как $e^e \approx 15{,}15...$ *[Жирмунский,Кузьмин,1982]*. Более того, им удалось получить эту величину аналитически (не привлекая, впрочем, для этого каких-либо предположений об оптимизационном характере соответствующих процессов).

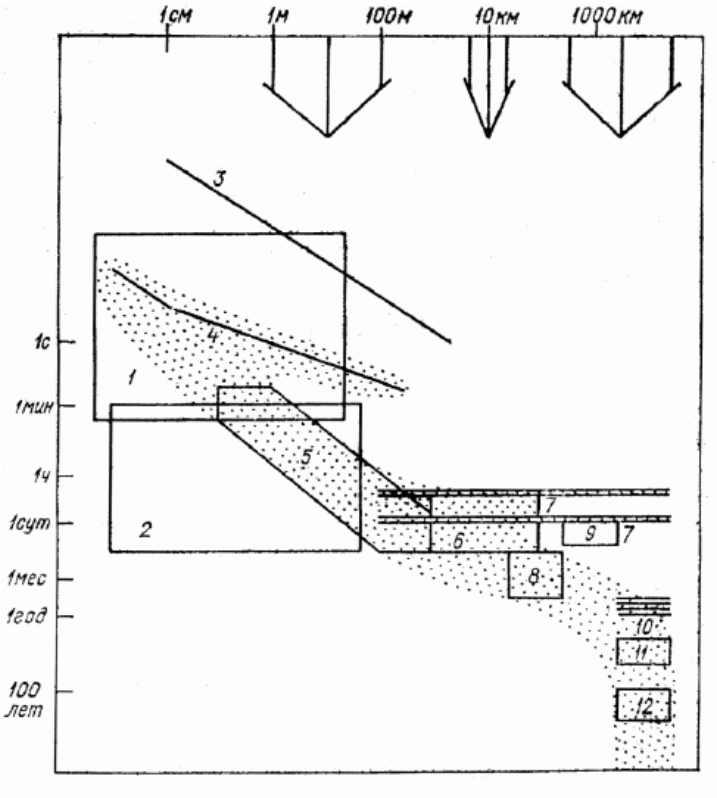
Каковы же исходные посылки, давшие им возможность выявить столь замечательный факт? К ним можно отнести следующие утверждения:

- «Известно, что при постоянных внутренних и внешних условиях развитие происходит с экспоненциальным изменением характеристик системы (…)
- Показано *[Ashby,1960 (1964); Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. М.: Машиностроение, 1974, 327 с.]*, что для развития систем с запаздыванием характерно включение механизма регуляции (адаптации к новым условиям развития) с периодом, равным времени запаздывания. Это соответствует известному способу оценки критических состояний, при котором в критической точке величина релаксации близка к возрасту системы *[Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука, 1975, 255 с.]*» (*[Жирмунский,Кузьмин, 1982]*, стр. 56).
- «Механизмы запаздывающего типа, характеризующие релаксационные механизмы реакций биологических объектов на внешние воздействия и внутренние процессы развития и опережающего отражения действительности, формируют области устойчивого развития» (*[там же]*, стр. 24);
- Для систем с запаздыванием характерен аллометрический закон роста, который «соответствует линейному изменению времени запаздывания с возрастом» (*[там же]*, стр. 24).

Вышеуказанные утверждения относятся к описанию естественного хода процессов в природе, лимитируемого энергетическими и материальными потоками, поступающими в рассматриваемую систему извне, через границы, отделяющие её от внешнего мира. «Внутри диапазона, определяемого критическими значениями аргумента $e^e$, будут иметь место последовательности критических соотношений меньшего масштаба, соответствующие последовательным стадиям экспоненциального развития, для которых степенная зависимость является огибающий. В то же время последовательные аллометрические режимы могут агрегироваться в более крупные критические уровни» (*[там же]*, стр. 165).

Основной вывод работы *[Жирмунский,Кузьмин,1982]*: «На основе изложенного можно сформулировать следующую зависимость критических уровней аллометрического развития систем: развивающиеся системы имеют среди критических уровней такие, соотношение последовательных значений которых равно $e^e$. Кроме того, показано, что в процессах развития существенно представлены более мелкие критические соотношения (в $e$ раз), характеризующие пределы использования экспоненциальных моделей» (стр. 165).

Характерные *размеры* биологических систем различных уровней также подчиняются найденным А.В.Жирмунским и В.И.Кузьминым закономерностям. В той же работе, на стр. 83, приведены расчетные диапазоны размеров девяти структур организма человека, которые они определяют как основные органы, эндокринные железы, покровы/стенки, гаметы, клетки/ядра, органоиды, другие ультраструктуры, мембраны/молекулы, атомы, показывающие, по их мнению, «весьма существенное их соответствие», причем «надо иметь в виду, что за исходную величину взят рост "условного мужчины"» 1,7 м, лишь приближенно указывающий «истинный средний рост» (*[там же]*, стр. 82). Соответствие, действительно, имеет место даже и при таком выборе, но интерпретация выделенных структур, с моей точки зрения, может быть несколько иной (см. ниже).




### *3.6.5.3. О взаимосвязи временной иерархии системы природы с пространственной*

Не только А.В.Жирмунский и В.И.Кузьмин исследуют существующую пространственную иерархию системы природы. Так, Е.В.Якушев, изучая иерархию морских биогеохимических процессов, приходит вслед за А.С.Мониным к следующему утверждению: «…необходимо подчеркнуть, что роль гидрофизических процессов в формировании пространственного распределения гидрохимических характеристик является определяющей. Поэтому чрезвычайно важными представляются оценки соотношения пространственных и временных масштабов гидрофизических процессов (см. рисунок).

**Рисунок.** Области пространственных и временных масштабов различных физических процессов в океане. 1 - мелкомасштабная турбулентность, 2 - вертикальная микроструктура 3 - акустические волны, 4 - капиллярные и гравитационные поверхностные волны, 5 - внутренние волны, 6 - инерционные колебания, 7 -

приливные колебания, 8 - океанские вихри и волны Россби, 9 - атмосферные синоптические процессы, 10 - сезонные колебания, 11 - главные океанские течения, 12- стратификация океана. Область наиболее вероятных масштабов заштрихована *[Монин А.С. Стратификация и циркуляция океана / В кн.: Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптические вихри в океане. Л.:ГМИ,1982, с.8-37].*

А.С.Мониным (1982) подчеркивается, что пространственным неоднородностям присущи типичные времена производящих их процессов:

- мелкомасштабным (доли мм – десятки метров) – от $10^{-3}$ сек. до десятков часов;
- мезомасштабным (сотни метров – километры) – от часов до суток;
- синоптическим (десятки и первые сотни километров) – от суток до месяцев;
- глобальным (тысячи и десятки тысяч километров) – от лет до сотен лет.

Как видно из … рисунка, практически на любом масштабе времени (и любом рассматриваемом пространственном шаге) оказываются активными несколько процессов, влияющих на гидрохимические поля, поэтому невозможно построить модель, основанную только на одном процессе, и, соответственно, нельзя изучать влияние отдельно взятого процесса независимо от других» *[Якушев,2002]*.

Подобная позиция и положена в основу предлагаемой концепции, определяющие процессы в которой (процессы приспособительного поведения) теснейшим образом взаимосвязаны в иерархии системы живой природы.

### *3.6.6. Глоссарий к предлагаемой иерархии системы живой природы*

Биологическая терминология обладает свойством неоднозначности и некоторой расплывчатости. Этим она отличается, например, от терминологии математической. Объясняется это, понятно, тем, что первая должна отражать наблюдаемые в природе естественнонаучные феномены, которые сами по себе представляют неизвестные и сложные явления («тайны Природы»), а вторая – абстрактные, вводимые человеком понятия, которые, по идее, всегда можно, так или иначе, конкретизировать.

Именно поэтому ниже для характеристики иерархии системы живой природы в основном используется не какой-то один, а сразу несколько энциклопедических источников: *«Большая Советская энциклопедия»* (3-е издание, М.: Советская энциклопедия, 1970-1978), *«Биология. Толковый словарь с английскими эквивалентами»* (авторы: В.П.Андреев, А.Г.Марков, Г.И.Дубенская и Е.Ф.Сороколетова, 1999) и *«Биология. Большой энциклопедический словарь»* (М.: Большая Российская энциклопедия, 1999), а также *Encyclopedia Britannica, 2000* (Britannica CD 2000 Deluxe) и некоторые другие фундаментальные источники. Выбор для фиксации опорных терминов в основном именно энциклопедических источников обусловлен значительно большей отработанностью и согласованностью определений в них – по сравнению с таковыми, предлагаемыми различными авторами в тех или иных научных статьях и монографиях, и значительно более дискуссионными.

Задача выглядит следующим образом: исходя, с одной стороны, из содержательного анализа имеющихся определений соответствующих структурных уровней в биологической иерархии, а с другой – из их расчетных (на базе предлагаемой концепции) количественных (пространственно-временных) характеристик, необходимо обосновать наименования указанных уровней для схемы иерархической поисковой оптимизации живого (ранее постулированных в подразделе 2.2). Эта задача усложняется тем, что *практически ни одно определение* таких биообъектов не содержит указаний на их пространственные размеры…

Кроме того, следует также иметь в виду, что понятие «сфера биообъекта» несколько более широкое, чем это интуитивно представляется. Оно должно включать в себя и все те биообъекты существенно меньшего размера, которые могут находиться в рассматриваемой «сфере» и находиться с «полностью заполняющим» её биообъектом в симбиотических взаимоотношениях различной степени интенсивности (вплоть до нулевой). Например, «сфера организма» включает в себя и всех тех микробов и простейших (прокариот и одноклеточных эвкариот), которые живут в пространстве, занимаемом *собственно многоклеточным организмом* как таковым. Так, Е.Н.Панов указывает, что «…во рту и в кишечнике каждого из нас обитают до $10^{15}$ разнообразных микроскопических приживальщиков, которые в нормальных условиях либо никак не влияют на ход жизненных отправлений своего хозяина, либо в той или иной степени способствуют его благополучию. Один грамм почвы может содержать в себе до 20 миллиардов бактериальных клеток и до 8 миллионов микроскопических одноклеточных эукариот» (*[Панов,2001]*, стр. 70).

**Ярус -9. СФЕРЫ АТОМЫ (размер ~ десятки пикометров)**

**«Атом** (от греч. $\alpha\tau\omega\mu\omega\zeta$ – неделимый), частица вещества микроскопических размеров и очень малой массы (микрочастица), наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств… Характерные порядки размеров: атома ~$10^{-8}$ см, ядра атома ~$10^{-12}$ см» *[Ельяшевич,БСЭ,1970]*.

Находясь на грани, выделяющей в иерархии системы природы её Живую составляющую, атомы (или «сферы атомов») являются частью обеих.

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов основного яруса «-9» в иерархии живого выбираем термин *атомы*.

**Ярус -8. Субкомпартменты «элементона»: органические молекулы (размер ~ сотни пикометров)**

Следующий после яруса «СФЕРЫ АТОМОВ» (высший) в иерархии живого промежуточный ярус Субкомпартменты «элементона» (определение последнего см. ниже), очевидно, представляют *молекулы*. Причем размер и уровень сложности этих молекул превосходят таковые, характерные для простых неорганических молекул, но не достигают таковых, характерных для *органических макромолекул*, или *биополимеров*. То есть для их наименования напрашивается именно термин *органические молекулы.*

Этот термин достаточно часто используется в литературе, но, как это ни странно, найти его определение в БСЭ мне не удалось. Правда, в статье «Органическая химия» вводится понятие «органических соединений» как соединений углерода с другими элементами *[Кнунянц,БСЭ,1974]*. С другой стороны, *углеводы* определяются там как «обширная группа органических соединений, входящих в состав всех живых организмов» *[Усов,БСЭ,1977]*, что можно понять и как утверждение относительно существования и другой, менее обширной группы таких соединений, к углеводам не относящихся.

ИНТЕРНЕТ-поиск дал сходный результат: «**Органическими** называют молекулы, в состав которых входят углерод и водород» *[Окитейн,1998]*, и даже «**Органическая молекула** - молекула, содержащая углерод; все сложные молекулы в живых системах в этом смысле – органические молекулы» *[Органическая…]*. Последнее, конечно, слишком расширительная трактовка этого понятия, поскольку включает и макромолекулы.

Таким образом, прежде чем выбрать для обозначения базовых биообъектов промежуточного яруса «-8» в иерархии живого (Субкомпартменты «элементона») термин *органические молекулы*, нужно дополнительно условиться, что под этим термином далее будем понимать те молекулы (рассматриваемые как совокупности *любых* атомов), которые: а) входят в состав того или иного биообъекта; б) имеют размеры, в среднем существенно (на порядок и более) меньшие, чем размеры *органических макромолекул*, или *биополимеров.*

**Ярус -7. Компартменты «элементона»: макромолекулярные структуры (размер ~ десятки нанометров)**

Следующий после яруса «Органические молекулы» (высший) в иерархии живого промежуточный ярус Компартменты «элементона», очевидно, как раз и представляют *макромолекулы*, или *биополимеры*.

**«Макромолекула**, буквально – большая *молекула,* молекула *полимера*; построена по принципу повторения идентичных (у М. гомополимера) или различных (у М. сополимера) структурных единиц – мономерных (повторяющихся) звеньев» *[Френкель,БСЭ,1974]*.

**«Макромолекула**, молекула *полимера,* содержащая большое число (от сотен до миллионов) атомов, соединенных химическими связями. Способна изменять форму в результате теплового движения или действия внешних сил (так называемая гибкость М.)» (*[СЭС,1982]*, стр. 757).

**«Полимеры** (от греч. πολυμερεζ – состоящий из многих частей, многообразный), химические соединения с высокой молекулярной массой (от нескольких тысяч до многих миллионов), молекулы которых (*макромолекулы*) состоят из большого числа повторяющихся группировок (мономерных звеньев)» *[Кабанов,БСЭ,1975]*.

«**Биополимеры (органические макромолекулы)** – высокомолекулярные природные соединения, являющиеся структурной основой всех живых организмов и играющие определяющую роль в процессах жизнедеятельности. К ним относятся белки, нуклеиновые кислоты и полисахариды; известны также смешанные биополимеры - гликопротеиды, липопротеиды, гликолипиды и др.» *[Лазуркин,БСЭ,1970]*.

«**Биополимеры** [англ.: biopolymers] – вещества, состоящие из большого числа повторяющихся звеньев: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и др.» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 68).

«**Биополимеры** – высокомолекулярные (молекулярная масса $10^3 \div 10^9$), природные соединения – белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся групп атомов или звеньев одинакового или различного химического строения... Уникальные биологические свойства **биополимеров** во многом определяются их существованием в растворах в упорядоченной конформации» (*[Биология,1999]*, стр. 69).

Указанные определения отражают «химический» взгляд на данные биообъекты. Но в литературе отражен и «биологический» взгляд на них и на их комплексы. В частности, это:

«**Хромосомы** [англ.: chromosomes] – нитевидные тельца, состоящие из молекул ДНК – материальных носителей наследственной информации, и различных белков, связанных с ДНК» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 382).

«**Хромосомы** – органоиды клеточного ядра, являющиеся носителями генов и определяющие наследственные свойства клеток и организмов. Способны к самовоспроизведению, обладают структурной и функциональной индивидуальностью и сохраняют её в ряду поколений... Основу **хромосомы** составляет одна непрерывная двухцепочечная молекула ДНК (в Х. около 99% ДНК клетки), связанная с белками (гистонами и др.) в нуклеопротеид» (*[Биология, 1999]*, стр. 695).

«**Хромосома** – микроскопическая нитевидная часть клетки, которая несет наследственную информацию в форме генов. Структура и локализация хромосом – одно из главных различий между двумя ос-

новными типами клеток: прокариот и эукариот. У организмов с прокариотическими клетками (т.е. у бактерий и сине-зеленых водорослей) хромосомы полностью состоят из ДНК. Единственная хромосома прокариотической клетки не заключена внутри ядерной мембраны. У всех других организмов (т.е. эукариот) хромосомы содержатся в ядре клетки, ограниченном мембраной. Хромосомы эукариотических клеток состоят главным образом из ДНК, соединенной с белковым ядром. Они также содержат РНК. Как у прокариот, так и эукариот размещение компонент в молекулах ДНК определяет генетическую информацию» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Chromosome*).

С отдельными положениями последних определений можно было бы и подискутировать. Например, я бы не называл хромосомы «органоидами клеточного ядра» (поскольку этот термин закрепился за объектами более высоких уровней в иерархии живого, причем сразу нескольких…), а прокариоты – «клетками» и, тем более, «организмами». Но в целом обе группы дефиниций определяют достаточно широкий спектр объектов, которые могут быть отнесены к базовым биообъектам промежуточного яруса «-7» в иерархии живого. Для их обозначения целесообразно ввести термин *макромолекулярные структуры* (Компартменты «элементона»).

Как представляется, именно к этому ярусу относятся и *рибосомы* (которые зачастую называют и органоидами, и органеллами).

**«Рибосомы,** внутриклеточные частицы, осуществляющие биосинтез белка; Р. обнаружены в клетках всех без исключения живых организмов: бактерий, растений и животных; каждая клетка содержит тысячи или десятки тысяч Р. Форма Р. близка к сферической, хотя её очертания сложны и не могут быть описаны простой геометрической фигурой. Различают 2 главных класса Р.: так называемые 70 SP (молекулярная масса около $3\times10^6$, диаметром около 200-300 Å, коэффициент седиментации $S°_{20w}$ около 70 единиц Сведберга) и более крупные 80 S Р. (молекулярная масса около $4\text{-}5\times10^6$, максимальный размер до 400Å, коэффициент седиментации около 80 единиц Сведберга). Р. 70 S класса характерны для клеток, не имеющих оформленного ядра, – *прокариотов* (бактерии, актиномицеты и сине-зелёные водоросли), а также для *хлоропластов* и *митохондрий* высших организмов. Р. 80 S класса обнаружены в цитоплазме всех *эукариотов,* т. е. организмов, имеющих оформленное клеточное ядро. По химической природе Р. – *нуклеопротеид,* состоящий из *рибонуклеиновой кислоты* (РНК) и белка. Р. класса 70 S содержит 60-65% РНК и 40-35% белка, а Р. класса 80 S – около 50% РНК и 50% белка» *[Гаврилова,Спирин, БСЭ,1975]*.

Весьма вероятно, что к этому ярусу следует относить и обычно называемые органоидами/органеллами *клеточные мембраны* и *микротрубочки*.

«**Биологические мембраны,** тонкие пограничные структуры молекулярных размеров, расположенные на поверхности клеток и субклеточных частиц, а также канальцев и пузырьков, пронизывающих протоплазму. Толщина Б. м. не превышает 100Å. Важнейшая функция Б. м. – регулирование транспорта ионов, сахаров, аминокислот и других продуктов обмена веществ» *[Антонов,БСЭ,1970]*.

«**Микротрубочки,** трубчатые образования в животных и растительных клетках. Диаметр М., или нитей, 150—290Å (редко до 400Å), внутренний просвет 100—200Å. Стенка М. состоит из 7—15 (чаще 12—13) нитей диаметром 30—40Å, построенных из глобулярных белковых субъединиц размером около 35Å. Различают 2 основных вида М.: цитоплазматические и *веретена деления клетки.* Цитоплазматические М. выполняют в клетке опорную функцию, обеспечивают внутриклеточный транспорт, движение и сокращение клетки и её компонентов; имеются данные об их участии и в построении М. веретена деления» *[БСЭ,т.16,1974,С.243]*.

То есть и по размерам, и по функциональной роли рибосомы, микротрубочки и клеточные мембраны вполне соответствуют ярусу «-7» *макромолекулярные структуры.*

•••••

Здесь самое время прерваться и подробнее рассмотреть хорошо известные в биологии клетки образования, которые называют *органоидами* и *органеллами*.

«**Органоиды** – постоянные структуры животных и растительных клеток, осуществляющие определенные функции, жизненно необходимые для клеток… К ним относят митохондрии, комплекс Гольджи, клеточный центр, эндоплазматическую сеть, рибосомы, цитоплазматические микротрубочки и др., а в растительных клетках, кроме того, – *пластиды*, *сферосомы* и др.)» *[БСЭ,т.18,1974,С.489]*.

«**Органоиды** – постоянные клеточные структуры, клеточные органы, обеспечивающие выполнение специфических функций в процессе жизнедеятельности клетки – хранение и передачу генетической информации, транспорт веществ, синтез и превращения веществ и энергии, деление, движение и др. К **органоидам** клеток эукариот относят хромосомы, клеточную мембрану, митохондрии, комплекс Гольджи, эндоплазматическую сеть, рибосомы, микротрубочки, микрофиламенты, лизосомы: в животных клетках присутствуют также центриоли, микрофибриллы, а в растительных – свойственные только им пластиды. Иногда к **органоидам** клеток эукариот относят и ядро в целом. Прокариоты лишены большинства **органоидов**, у них имеются лишь клеточная мембрана и рибосомы, отличающиеся от цитоплазматических рибосом клеток эукариот. В специализированных эукариотных клетках могут быть сложные структуры, в основе которых находятся универсальные **органоиды**, например, микротрубочки и центриоли – главные компоненты жгутиков и ресничек; микрофибриллы лежат в основе тоно- и нейрофибрилл. Специальные

структуры одноклеточных, например, жгутики и реснички (построены так же, как у клеток многоклеточных), выполняющие функцию органов движения, кинетопласт – комплексную митохондриальную структуру, пищеварительные и экскреторные вакуоли называют **органеллами**, в отличие от универсальных структур – **органоидов**. Чаще в современной литературе термины **органоиды** и **органеллы** употребляются как синонимы» (*[Биология,1999]*, стр. 430).

«**Органеллы** – части тела одноклеточных организмов – простейших, выполняющих различные функции (примеры: скелетные и опорные, двигательные и сократимые, чувствительные, нападения и защиты, пищеварительные, экскреции и секреции)» *[БСЭ,т.18,1974,С.473]*.

«**Органоиды** [англ.: organoids], **органеллы** [англ.: organelles] – постоянные и временные высокоспециализированные структуры, содержащиеся в цитоплазме клеток» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 252).

Здесь, прежде всего, бросается в глаза, что в энциклопедических определениях (и практически в большинстве других литературных источников) органоидами/органеллами называют *все* внутриклеточные и внутриядерные структуры, даже хромосомы и рибосомы, независимо от их размера и функциональной роли. К исключениям из этого правила обычно относятся работы, специально посвященные исследованию ультраструктурных внутриклеточных образований (напр., *[Finean,1967(1970)]*).

Если же исходить из задачи данного пункта настоящей монографии, то она как раз и состоит в том, что каждому из подобных «органоидов/органелл» нужно найти свое место в иерархии живого. Частично это уже сделано, а для дальнейшего я перехожу к следующему параграфу.

**Ярус -6. СФЕРЫ «ЭЛЕМЕНТОНОВ» – ультраструктурных внутриклеточных элементов (сложной эвкариотической клетки) и автономных прокариотических ячеек (размер ~ сотни нанометров)**

Этот интеграционный уровень в иерархии живого относится к основным и, следовательно, представляющие его биообъекты – которым целесообразно присвоить общее наименование «*элементоны*» – обладают свойством целеполагания, а также высокой степенью отграниченности от внешней по отношению к ним среды. Те *элементоны*, степень автономности которых максимальна, обычно называются прокариотами, те же, которые входят в состав более крупных образований (сложных эвкариотических клеток), известны как ультраструктурные внутриклеточные элементы.

Те и другие имеют (в среднем) одинаковые размеры порядка сотен нанометров. В частности, Дж.Финеан оценивает размеры «надмолекулярных структур» (*[Finean,1967(1970)]*, стр. 16) в диапазоне от 5 до 2000 Å, т.е. до 200 нанометров. Вот как подобные объекты обычно определяются в литературе.

«**Прокариоты** доядерные (Prokariota), организмы, не обладающие типичным клеточным ядром и хромосомным аппаратом. К П. относятся бактерии, сине-зелёные водоросли, риккетсии, микоплазмы и др.» *[Полянский,БСЭ,1975]*.

«**Прокариоты** (от лат. pro – перед, раньше, вместо, и греч. καρυον – ядро), организмы, клетки которых не имеют ограниченного мембраной ядра – все бактерии, включая архебактерий и цианобактерий. Аналог ядра – структура, состоящая из ДНК, белков и РНК. Генетическая система П. (генофор) закреплена на клеточной мембране и соответствует примитивной хромосоме. При удвоении генофора его две копии расходятся, увлекаемые растущей клеточной мембраной. Митоз у П. отсутствует. Они лишены (*я* бы выразился: не *лишены*, а ещё *не возникли* в метаэволюции живого – С.Г.) хлоропластов, митохондрий, аппарата Гольджи, центриолей, имеющихся у эукариот. Рибосомы П. отличаются по числу белков и коэффициенту седиментации от цитоплазматических рибосом эукариот… По строению клетки П. противопоставляют эукариотам, к которым относят все остальные организмы. Различия между П. и эукариотами так существенны, что в *системе организмов* их выделяют в надцарства» (*[Биология,1999]*, стр. 510).

Как видим, авторы энциклопедических определений прокариот не считают необходимым указывать их типичные размеры. В специальной же литературе отмечается, что они в среднем на 3-4 порядка меньше, чем (средние) размеры эвкариотических клеток (подробнее об этом см. ниже, подпункт 8.3.9.3).

Утверждение, что «автономные элементоны» – это синоним термина *прокариотическая ячейка* (не использую слово *клетка*, т.к. этот термин лучше оставить за сложными эвкариотическими клетками), позволяет «привязать» это понятие к известным в биологии сущностям. Что же касается трактовки «неавтономного элементона», являющегося иерархически вложенной частью сложной клетки, то мне не удалось найти в литературе для него соответствующего обобщенного термина. Говорят о различных внутриклеточных элементах – например, о сравнительно обобщенных (*органоиды* и *органеллы*) либо о вполне конкретных элементах (*митохондрии*, *ядро клетки* и т.п.), – не имея, по-видимому, оснований давать совокупное наименование их ультраструктурному подмножеству. Но в рамках предлагаемой концепции таковое основание появляется. По крайней мере, именно к *элементонам* следует отнести и *митохондрии*, и *хлоропласты,* и, возможно, некоторые другие ультраструктурные внутриклеточные образования. Действительно:

«**Митохондрии** (…), хондриосомы, постоянно присутствующий в клетках животных и растений *органоид,* обеспечивающий клеточное дыхание, в результате которого энергия высвобождается или аккумулируется в легко используемой форме (…) М. отсутствуют лишь у бактерий, сине-зелёных водорослей и других *прокариотов,* где их функцию выполняет клеточная мембрана. М. обычно концентрируются в

функционально активных зонах клетки. Это округлые, палочковидные, гантелеобразные и др. образования размером обычно 0,5—1,5 *мкм*» *[Палкина,БСЭ,1974]*.

«**Хлоропласты** (…), внутриклеточные органеллы растительной клетки – пластиды, в которых осуществляется фотосинтез... Основная функция Х., состоящая в улавливании и преобразовании световой энергии, нашла отражение и в особенностях их строения. У высших растений Х. – тельца линзообразной формы диаметром 3-10 мкм и толщиной 2-5 мкм, представляют собой систему белково-липидных мембран, погруженных в основное вещество – матрикс, или строму, и отграничены от цитоплазмы наружной мембраной (оболочкой)» *[Бекина,БСЭ,1978]*.

Нелишним здесь будет и упоминание о происхождении митохондрий как результата симбиоза эвкариот и прокариот: «кислородную катастрофу пережили те организмы, которые включили оксифильных бактерий внутрь своих клеток как симбионтов. Так возникли митохондрии – несомненные родственники альфа-протеобактерий. Митохондрии – это энергетические станции клетки, вырабатывающие АТФ в результате кислородного окисления. Но первичная их функция – инактивация кислорода путем окисления ненужных продуктов обмена» *[Малахов,2003]*. А поскольку предки современных митохондрий – прокариоты – относятся именно к ярусу «-6» ЭЛЕМЕНТОНОВ, то это же справедливо и для них самих. По аналогии же, как представляется, можно распространить все эти соображения и на хлоропласты растений, функционально близкие к митохондриям.

Весьма вероятно, что к данному ярусу в иерархии живого следует относить и клеточное ядро, описание которого содержит много оснований также считать его результатов древнего симбиоза прокариот, одна из которых и стала выступать в роли ядра нового объединенного образования (сложной клетки):

«**Ядро** клеточное, обязательная, наряду с цитоплазмой, составная часть клетки у простейших, многоклеточных животных и растений, содержащая *хромосомы* и продукты их деятельности. По наличию или отсутствию в клетках Я. все организмы делят на *эукариот* и *прокариот.* У последних нет оформленного Я. (отсутствует его оболочка), хотя дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) имеется (…) Обычно Я. в клетке одно, находится близ её центра, имеет вид сферического или эллипсоидного пузырька (…) Нередки двух- и многоядерные клетки, обычно образующиеся путём деления Я. без деления цитоплазмы или путём слияния нескольких одноядерных клеток (т.н. симпласты, например поперечнополосатые мышечные волокна). Размеры Я. варьируют от ~1 *мкм* (у некоторых простейших) до ~1 *мм* (некоторые яйцеклетки). Я. отделено от цитоплазмы ядерной оболочкой (ЯО), состоящей из 2 параллельных липопротеидных мембран толщиной 7-8 *нм*, между которыми находится узкое перинуклеарное пространство. ЯО пронизана порами диаметром 60-100 *нм*, на краях которых наружная мембрана ЯО переходит во внутреннюю. Частота пор различна в разных клетках: от единиц до 100-200 на 1 *мкм*$^2$ поверхности Я. По краю поры располагается кольцо плотного материала – так называемый аннулус. В просвете поры часто имеется центральная гранула диаметром 15-20 *нм*, соединённая с аннулусом радиальными фибриллами. Вместе с порой эти структуры составляют поровый комплекс, который, по-видимому, регулирует прохождение макромолекул через ЯО (например, вход в Я. белковых молекул, выход из Я. рибонуклеопротеидных частиц и т.п.). Наружная мембрана ЯО местами переходит в мембраны *эндоплазматической сети*; она обычно несёт белоксинтезирующие частицы – *рибосомы.* Внутренняя мембрана ЯО иногда образует впячивания в глубь Я. Содержимое Я. представлено ядерным соком (кариолимфой, кариоплазмой) и погруженными в него оформленными элементами – хроматином, ядрышками и др.» *[Райков,БСЭ,1978]*.

Также весьма вероятно, что к данному ярусу в иерархии живого следует относить и *эндоплазматическую сеть* (*эндоплазматический ретикулум*), и *диктиосомы* – элементы *комплекса (аппарата) Гольджи*, традиционно называемые «органоидами»:

«**Эндоплазматическая сеть**, внутриклеточный органоид, представленный системой плоских цистерн, канальцев и пузырьков, ограниченных мембранами; обеспечивает главным образом передвижение веществ из окружающей среды в цитоплазму и между внутриклеточными структурами (…) Толщина мембран Э.с. 5-6 *нм,* ширина просвета между мембранами 70-500 *нм*» *[Христолюбова,БСЭ,1978]*.

«**Диктиосома**, структурно-функциональная единица комплекса Гольджи: в растительных клетках Д. обособлены. Представлена стопкой из 5-20 параллельных плоских мембранных мешочков (цистерн), расстояние между ними 20-25 нм» (*[Биология,1999]*, стр.177). «**Гольджи комплекс** образован тремя компонентами: системой из 5-8 плоских цистерн (γ-мембран толщиной 70-80 Å), микропузырьками (диаметром 300-500 Å) и крупными вакуолями (диаметром 0,2-0,3 мкм)… Функции К.Г. связаны с образованием различных оформленных продуктов жизнедеятельности клетки: секреторных гранул, желточных пластинок, коллагена, включений липидов, гликогена и меланосомных гранул» *[Алов,БСЭ,1972]*.

Не исключено также, что к данному ярусу в иерархии живого следует относить и структуры, которые обычно называют органоидами/органеллами: *лизосомы* животных клеток, их предположительный аналог в растительных клетках *сферосомы*, и *центриоли*:

«**Лизосомы** (…), структуры в клетках животных и растительных организмов, содержащие ферменты (около 40), способные расщеплять (лизировать) белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, липиды (отсюда название)… Размеры 0,25-0,5 *мкм*» *[Аспиз,БСЭ,1973]*.

**«Центриоли,** постоянные структуры всех животных и некоторых растительных клеток, основная часть *клеточного центра.* Окружены *центросомой.* Ц. цилиндрической формы, длиной 0,2-0,8 *мкм,* стенка Ц. состоит из 9 групп микротрубочек. В неделящейся клетке имеются 2 прилежащие друг к другу Ц. При делении клетки они расходятся к полюсам, определяя ось *веретена деления клетки.* Удвоение каждой Ц. происходит, как правило, в конце деления. При отсутствии Ц. их функцию выполняют собирающиеся на полюсах мембранные компоненты клетки» *[БСЭ,т.28,1978,С.523]*.

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов основного яруса «-6» в иерархии живого выбираем термин *элементоны*, имея в виду, что его неавтономные воплощения будем называть также *ультраструктурными внутриклеточными элементами*, а автономные – *прокариотическими ячейками.*

**Ярус -5. Субкомпартменты сложной клетки (размер ~ микрометры)**

Следующий после яруса СФЕРЫ ЭЛЕМЕНТОНОВ (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Субкомпартменты сложной клетки», очевидно, представляют оставшиеся (за исключениями, о которых говорилось выше) органоиды и органеллы.

По-видимому, это *цитоплазматические микрофибриллы*, представитель которых в мышечных клетках охарактеризован в БСЭ следующим образом:

«**Миофибриллы** [от *мио...* и новолат. fibrilla (уменьшительное от лат. fibra) – волоконце, ниточка], сократимые нити в протоплазме поперечнополосатых мышечных волокон скелетной мускулатуры, сердечной мышцы и мышц с двойной косой исчерченностью. Диаметр М. от 0,5 до нескольких *мкм.* В поперечном сечении М. округлы, угловаты или овальны. Основную массу М. составляют тончайшие белковые нити – миофиламенты, или протофибриллы …, двух типов – толстые миозиновые (состоят главным образом из *миозина,* длина их около 1500 *нм,* диаметр 10-15 *нм*) и тонкие актиновые (состоят в основном из *актина,* длина их 1000-1100 *нм,* диаметр 5-8 *нм*)» *[БСЭ,т.16,1974,С.307]*.

К этому же ярусу, как представляется, следует отнести и комплекс Гольджи в целом.

В таблицу 3.1 сведены все образования, традиционно обозначаемые как органоиды и органеллы, и, с той или иной степенью вероятности, отнесенные мною (с учетом их типичных размеров, степени автономности и функциональной роли в клетке) к ярусам иерархии живого с номерами от «-7» до «-5»:

Таблица 3.1.

| | Номер и название яруса в иерархии живого | | |
|---|---|---|---|
| Название органоида/органеллы | № «-7» Макромолекулярные структуры | № «-6» УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ | № «-5» Субкомпартменты клетки |
| хромосомы | +++ | | |
| рибосомы | +++ | | |
| клеточные мембраны | +++ | | |
| микротрубочки и микрофиламенты | +++ | | |
| митохондрии | | +++ | |
| хлоропласты | | +++ | |
| клеточное ядро | | +++ | |
| эндоплазматическая сеть | | +++ | |
| диктиосомы (элементы комплекса Гольджи) | | +++ | |
| лизосомы/сферосомы | | ++ | + |
| центриоли | | ++ | + |
| микрофибриллы (миофибриллы) | | | +++ |
| комплекс Гольджи в целом | | | +++ |
| Примечание: символ +++ обозначает отнесение какой-либо структуры к данному ярусу с большой вероятностью, меньшую вероятность этого обозначает символ ++, а минимальную вероятность символ +. | | | |

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «-5» в иерархии живого выбираем чисто системный термин *субкомпартменты сложной клетки.*

**Ярус -4. Компартменты сложной клетки (размер ~ десятки микрометров)**

Следующий после яруса «Субкомпартменты сложной клетки» (высший) в иерархии живого промежуточный ярус естественно назвать «Компартментами сложной клетки».

Термин «компартмент» применительно к клетке используется существенно реже термина «органоиды/органеллы», но в столь же широком диапазоне смыслов.

«Характерная особенность клетки – пространственная организация химических процессов (**компартментализация, или компартментация)**. Например, процесс клеточного дыхания у эукариот происходит только на мембранах митохондрий, синтез белка – на рибосомах. Концентрирование ферментов, упорядоченное их расположение в структурах ускоряет реакции, организует их сопряжение (принцип конвейера), разделяет разнородные процессы. Микрогетерогенность, присущая строению клетки, позво-

ляет синтезировать различные вещества из одних и тех же предшественников, в одно время в миниатюрном общем объеме» (*[Биология,1999]*, стр. 261).

**«Компартменты** [англ.: compartments] – функционально и морфологически различные части клетки; имеют свой собственный набор ферментов и других специализированных молекул; необходимы для разобщения различных химических процессов, одновременно протекающих в цитоплазме» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 187).

И даже: «**Компартменты** – отсеки в цитоплазме клетки, заполненные водным содержимым» *[Компартменты]*.

В работе *[Гринченко,Загускин,1989]* под **компартментами** мы подразумевали такие пространственно ограниченные образования (соответствующего размера, иерархически вложенные *непосредственно* в клетку), как рецепторные (у нейрона – постсинаптические) зоны клетки, её эффекторная (у нейрона – аксонная) зона и т.п. Таким образом, в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «-4» в иерархии живого выбирается термин *компартменты сложной клетки.*

**Ярус -3. СФЕРЫ СЛОЖНЫХ КЛЕТОК: эвкариотические (размер ~ сотни микрометров)**

Этот уровень в иерархии живого относится к основным.

«**Клетка** – элементарная живая система, способная к самостоятельному существованию, самовоспроизведению и развитию; основа строения и жизнедеятельности всех животных и растений» *[Бродский,БСЭ,1973]*.

«**Клетка** – элементарная живая самовоспроизводящаяся система, ограниченная избирательно проницаемой мембраной, содержащая генетическую информацию своего вида и механизмы, синтезирующие пластические вещества, а также богатые энергией соединения для обеспечения клеточного метаболизма» *[Александров,1985]*.

«**Клетка** [англ.: cell] – элементарная единица живой системы, обладающая всеми признаками живого: наименьшая система, самостоятельно осуществляющая такие функции, как размножение, рост, обмен веществ и энергии, способность реагировать на внешние раздражители» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 178).

«**Клетка** – базисная единица, из которых состоит все живое. Клетка – наименьшая структурная единица живой материи, которая способна к независимому функционированию. Все клетки подобны по композиции, форме и функции. Единственная клетка может выступать сама по себе как полный организм, как у бактерий и простейших. Группы специализированных клеток организованы в ткани и органы в многоклеточных организмах у высших растений и животных» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, Cell).

Необходимо отметить следующее:

а) в приведенных определениях не делается разницы между прокариотическими и эвкариотическими клетками: первые два определения имеют универсальный характер, тогда как последние два – употребив термин «наименьшая» – фактически должны быть отнесены только к прокариотам; необходимость кардинального различения этих понятий будет более подробно рассмотрена ниже, в разделе 8.

б) Ю.В.Чайковский в одной из своих публикаций в журнале «Биология» приводит следующее соображение: «Эвкариоты – организмы, состоящие из клеток, имеющих ядро. Это написание, постоянно применяемое данным журналом и многими авторами, соответствует греческой фонетике. Дифтонг (двойной гласный звук) eu – в греческом и в латыни читался как эв (эвглена, эвкалипт, эврика, эвтрофия и т.д.) или как ев (Евангелие, Евгений, Европа, евнух и т.д.). Систематики, знающие греческий источник термина, пишут слово "Eucaryota" по-русски так: эвкариоты или евкариоты. Те же, кто воспринимает это слово как английское, пишут эукариоты; такому написанию нет русских аналогов, оно противоречит русской фонетике, и его вряд ли можно признать грамотным. Греческая приставка pro- означает "до-", а eu- носит характер усиления; тем самым, procaryota буквально – "доядерные", а eucaryota – "собственно ядерные" или "подлинно ядерные"» *[Чайковский,1999]*. Эта аргументация исчерпывающа, и ниже я буду придерживаться именно такого написания данного термина (кроме цитат, в которых их авторами используется написание «эукариоты»).

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов основного яруса «-3» в иерархии живого выбираем термин *сложные клетки,* или *эвкариотические клетки.*

**Ярус -2. Субкомпартменты многоклеточного организма: ткани (размер ~ сантиметры)**

Следующий после яруса СЛОЖНЫЕ КЛЕТКИ (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Субкомпартменты многоклеточного организма», очевидно, представляют ткани.

«**Ткани** – системы клеток, сходных по происхождению, строению и функциям. В состав тканей входят также межклеточные вещества и структуры – продукты клеточной жизнедеятельности (примеры: пограничная ткань, или эпителий, соединительная, мышечная и нервная ткани)» *[Бродский,БСЭ,1977]*.

«**Ткани** [англ.: tissues] – закономерно повторяющиеся совокупности клеток, сходные по происхождению, строению и выполняющие сходную функцию или функции. Выделяют следующие ткани растений: образовательные (мерисистемы) – 1) верхушечные (апикальные), 2) боковые (латеральные), 3) вставочные и 4) раневые; 5) ассимиляционные (фотосинтезирующие) – паренхиму и др.; 6) запасающие; 7)

аэренхиму; 8) всасывающие; покровные – 9) эпидерму, 10) перидерму и 11) корку; 12) ткани, регулирующие прохождение вещества – 13) эндодерму и 14) экзодерму; 15) выделительные (гидатоды, нектарники, трихомы, смоляные ходы и т.п.); механические – 16) колленхиму и 17) склеренхиму; проводящие – 18) ксилему (древесину) и (19) флоэму (луб). В организме животных и человека выделяют: 1) эпителий, 2) собственно соединительную ткань, 3) хрящевую и 4) костную ткани, 5) кровь, 6) лимфу, 7) гладкую и 8) поперечнополосатую мышечные ткани, 9) нервные клетки и 10) нейроглию» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 352).

«**Ткань** – группа физически объединенных клеток и связанных с ними межклеточных веществ, специализированная для выполнения определенной функции или нескольких функций» (*[Green,Stout,Taylor, 1989-1996]*, том 1, стр. 243).

«**Ткань** – в физиологии уровень организации в многоклеточных организмах; он состоит из группы структурно и функционально подобных клеток и их связующего материала. По определению, ткани отсутствуют у одноклеточных организмов. У простейших многоклеточных видов, таких как губки, ткани отсутствуют или слабо различаются. Но у более развитых многоклеточных животных и растений имеются специализированные ткани, которые могут организовывать и регулировать отклик организма на внешние влияния» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Tissue*).

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «-2» в иерархии живого выбираем системный термин *субкомпартменты многоклеточного организма, или ткани.*

**Ярус -1. Компартменты многоклеточного организма: органы и системы органов (размер ~ дециметры)**

Следующий после яруса «Субкомпартменты многоклеточного организма» (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Компартменты многоклеточного организма», очевидно, представляют органы и системы органов.

«**Орган** – часть тела животного или растительного организма, выполняющая одну или чаще несколько специфических для него функций (примеры: мозг, сердце, глаз, печень, желудок)» *[БСЭ,т.18, 1974,С.472]*.

«**Органы** [англ.: organs] – части животного или растительного организма, имеющие определенные строение, отвечающее выполнению определенных функций, напр. почка, сердце, семенник - у животных, стебель, корень, лист - у растений» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 252).

«**Орган** – группа тканей в живом организме, которая приспособлена для выполнения специфической функции. У высших животных органы группируются в **системы органов**; например, пищевод, желудок и печень – органы пищеварительной системы. У высших животных обычно имеется 10 **систем органов**: покровная, скелетная, мускульная, нервная, эндокринная (гормональная), пищеварительная, респираторная, кровеносная, экскреторная и репродуктивная. Эти системы постепенно появляются у низших животных и достигают своей полной сложности и функциональной специализации у высших животных. У растений первичные органы – стебель, корень и лист, помогающие его питать, и репродуктивные органы (например, цветы, семя и споры). Как и у животных, эти органы ответственны за основные функции жизни по поддержанию существования организма» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Organ*).

БСЭ добавляет к этому перечню такие системы обеспечения жизнедеятельности и приспособления к условиям окружающей среды, как «зрительную, слуховую и вестибулярную» *[Черниговский,Ланге, БСЭ,1978]*. Но остается вопрос: являются ли системами в этом смысле обонятельная, вкусовая и осязательная? БСЭ указывает, что «у большинства беспозвоночных вкусовые органы и органы обоняния ещё не разделены и являются органами общего химического чувства – вкуса и обоняния» *[Винников,Певзнер, БСЭ,1971]*. То есть хеморецепцию осуществляет объединенная обонятельно-вкусовая система. Если осязательную всё же рассматривать как самостоятельную систему, то получается, что общее число «систем органов» достигает 15.

Кроме того: термин «система органов» представляется (в рамках настоящего системного рассмотрения живого *в целом*) как по существу верный, но излишний в данном контексте. В смысле «системности» как таковой объединение органов принципиально не отличается от объектов иных степеней интеграции живого. Но поскольку в физиологии этот термин прижился, в дальнейшем придется его использовать, чтобы не создавать дополнительных недоразумений.

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «-1» в иерархии живого выбираем системный термин *компартменты многоклеточного организма, или органы и системы органов.*

**Ярус 0. СФЕРЫ МНОГОКЛЕТОЧНЫХ ОРГАНИЗМОВ (размер ~ метры)**

Этот интеграционный уровень в иерархии живого относится к основным.

«**Организм** – в узком смысле биологический индивид, целостная живая система, упорядоченная в пространстве и времени, способная поддерживать самостоятельное существование благодаря приспособительному взаимодействию со средой; в широком смысле – система, по способу организации подобная живому организму» *[Хайлов,1967]*.

«**Организм** (от позднелат. organizo – устраиваю, сообщаю стройный вид), любое живое существо. Одноклеточные и многоклеточные организмы обладают совокупностью основных жизненных свойств, отличающих их от неживой материи: клеточной организацией; обменом веществ, в котором ведущая роль принадлежит биополимерам – белкам, нуклеиновым кислотам и полисахаридам, обеспечивающим самообновление и поддержание постоянства внутренней среды организма; движением с его специфическими формами – мышечным, плазматичным, ресничным и жгутиковым; раздражимостью; ростом и развитием; размножением; изменчивостью и наследственностью; приспособляемостью к условиям существования» *[Амлинский,БСЭ,1974]*.

«**Организм** [англ.: organism] – биологическая единица, имеющая характерные анатомические и физиологические признаки. Может состоять из единственной клетки (одноклеточный организм), из множества одинаковых клеток (колониальный организм) или из различных по функции клеток (многоклеточный организм)» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 251).

**«Многоклеточные** организмы, животные и растения, тело которых состоит из многих клеток и их производных (различные виды межклеточного вещества). Характерный признак М. – качественная неравноценность слагающих их тело клеток, их дифференцировка и объединение в комплексы различной сложности (ткани, органы), выполняющие разные функции в целостном организме. Для М. характерно также индивидуальное развитие (*онтогенез*), начинающееся в большинстве случаев (исключая *вегетативное размножение*) с делений и дифференцировки одной клетки (половой клетки, споры или др.)» *[БСЭ, т.16,1974,С.369]*.

«**Многоклеточный организм** – организм, состоящий из многих клеток с различной степенью интеграции и независимости. Развитие многоклеточных организмов сопровождается клеточной специализацией и разделением труда; клетки становятся эффективными в одном процессе и зависят от других клеток согласно жизненной необходимости» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Multicellular organism*).

Следует отметить, что существуют и некоторые другие определения организма, отражающих его сущность, на мой взгляд, недостаточно конкретно. Например: «**Организм** – физико-химическая система, существующая в окружающей среде в стационарном состоянии» (*[Green,Stout,Taylor, 1989-1996]*, том 3, стр. 47).

С другой стороны, иногда под *организмом* понимают некую системную сущность, обладающую универсальными свойствами. Например: «Под организмом, следуя терминологии теории управления, будем понимать любую систему, которая не только имеет собственные цели, но и обладает определенными возможностями следовать им. Живое существо всегда является организмом, поскольку оно не только имеет цель – сохранение гомеостазиса, но и обладает определенными возможностями её достижения. Организмами являются и многие сообщества живых существ. Используя эту терминологию, мы можем сказать, что любой организм обладает способностью реализовывать как отрицательные, так и положительные обратные связи» (*[Моисеев,1987]*, стр. 72). Или первая часть следующего определения:

«**Организм** – в широком, самом общем смысле – любая биологическая или биокосная целостная система, состоящая из взаимозависимых и соподчиненных элементов, взаимоотношения которых и особенности строения детерминированы их функционированием как целого. В этом смысле в понятие **организм** входят не только особи (индивиды), но и колонии (колониальные организмы), семьи (у общественных животных), популяции, биогеоценозы и т.д. В узком смысле **организм** – особь, индивидуум, “живое существо”» (*[Биология,1999]*, стр. 429-430).

Наконец: «Жизнь существует только в дискретной форме организмов. Недискретной жизни – “живого вещества” – не существует. В этом смысле метафорический термин Вернадского оказался очень неудачным и его заменяют словом “биота”, обозначающим то же самое – совокупность живых организмов… Понятие “организм” точно соответствует прокариотной клетке как простейшей системе и наиболее простой единице жизни… Организм – это система взаимодействующих компонент. Отсюда следует, что любая попытка подменить систему её компонентом несостоятельна. Изучение компонента позволяет понять его устройство и механизм действия, но не действие той системы, в которую он входит как составная часть. Вывод заключается в необходимости иерархически организованного системного подхода к явлениям жизни. Это заключение почти столь же тривиально, как требование не делать логических ошибок в рассуждении, и столь же трудно осуществимо, поскольку ведет к необъятности построения. Тем не менее, чувство умственного дискомфорта потребовало от естествоиспытателей не ограничиваться редукционистским подходом к анализу природных явлений, но и попытаться создать обобщенную картину» *[Заварзин,2001а]*.

Несмотря на столь широкий разброс во мнениях – или именно благодаря его наличию – по самой постановке задачи настоящей работы далее я всюду буду использовать термин *организм* именно в «узком» смысле, как сложное *многоклеточное* образование, т.е. как синоним термина *многоклеточный организм*.

Итак, в качестве обозначения для базовых биообъектов основного яруса «0» в иерархии живого выбираем термин *многоклеточные организмы*.

**Ярус +1. Субкомпартменты биогеоценоза (размер ~ декаметры)**

Следующий после яруса МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Субкомпартменты биогеоценоза» не имеет единого общепринятого наименования, всеобъемлюще отражающего его основные характеристики в биологических терминах. Так, в довольно близком к нему (в иерархическом смысле) понятии *консорция* недостаточно четко отражены её геосоставляющая и пространственные размеры.

**«Консорции** [англ.: consortium] – часть биоценоза (совокупности популяций разных видов, населяющей общую территорию), которая объединяет различные организмы на основе их близкого пространственного расположения и пищевых цепей» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 189 и 331).

**«Консорция** – структурная единица биоценоза, объединяющая автотрофные и гетеротрофные организмы на основе пространственных (топических) и пищевых (трофических) связей. Примером консорции может служить любое отдельное дерево (или группа деревьев) – т.н. растение-эдификатор (от лат. aedificator – строитель), с которым связаны фитофаги и их паразиты, микоризные грибы, эпифиты, гнездящиеся птицы и т.д.» (*[Биология,1999]*, стр. 278).

**«Консорций,** консорция (от лат. consortium – соучастие, сообщество) в биогеоценологии, совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых связана с центральным видом *фитоценоза* – автотрофным растением. В роли центрального вида К. обычно выступает эдификатор – основной вид, определяющий особенности фитоценоза. Иногда другие виды, в том числе гетеротрофные организмы (паразиты, сапрофиты), связаны с центральным видом односторонне – потребление, затенение. Это ядро К. – источник существования 2-го, 3-го и последующих его кругов, куда входят организмы, которые разрушают органические вещества, созданные центральным и др. автотрофными видами, и используют заключённую в них энергию. Термином «К.» в 70-х гг. 19 в. обозначали *симбиоз* некоторых растений (например, водоросли и гриба, образующих лишайник)» *[БСЭ,т.13,1973,С.4]*.

То же самое, и в ещё большей степени, относится и к многочисленным определениям довольно близкого к нему по смыслу понятия *популяция*:

«**Популяция** – совокупность особей одного вида, более или менее длительно занимающая определенное пространство и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений» *[Тимофеев-Ресовский,Яблоков,Глотов,БСЭ,1975]*. «**Популяция** – совокупность особей одного вида, обладающих общим генофондом и занимающих определенную территорию» (*[Биология,1999]*, стр. 499-500). «**Популяция** – группа организмов одного вида, занимающая определенную территорию и обычно в той или иной степени изолированная от других сходных групп» (*[Green,Stout,Taylor,1989(1996)]*, том 2,стр.78). «**Популяции** [англ.: populations] – относительно изолированные группы особей одного вида» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 286). «**Популяция** – число индивидуумов некоторого вида, живущего в ограниченной области, или общее количество либо суммарный вес представителей растительного вида, представленного в данной области» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Population*).

Для сравнения с определениями, даваемыми для интересующих нас комплексных биолого-географических объектов в рамках биологических наук, приведу теперь общее определение несколько более широкого понятия из области географических наук, иерархически включающего в себя и рассматриваемое:

**«Природный территориальный комплекс**, географический комплекс, геосистема, закономерное сочетание природных, географических компонентов (земной коры с присущим ей рельефом, воды, воздушных масс, почв, сообществ живых организмов), образующих целостную материальную систему; одно из основных понятий *физической географии,* широко применяемое в *ландшафтоведении* и общем *землеведении.* Отдельные компоненты природной среды в пределах П.т.к. развиваются как части целого. Их взаимосвязи выражаются в обмене веществом и энергией. Изменение даже одного из компонентов часто вызывает перестройку всего П.т.к. В то же время П.т.к. обладают определённой устойчивостью, они имеют тенденцию восстанавливаться после их нарушения внешними агентами (в т.ч. и воздействием человека). П.т.к. относятся к разным уровням (рангам): планетарному (*географическая оболочка*), региональному (*ландшафтная зона, провинция,* отдельный *ландшафт*), топологическому (местность, *урочище, фация*). П.т.к. регионального и топологического уровней – структурные части географической оболочки, результат процесса её дифференциации. С др. стороны, любой П.т.к. высшего ранга можно рассматривать как выражение интеграции П.т.к. низших рангов» *[Исаченко,БСЭ,1975]*. Если исключить из приведенного здесь перечня иерархических уровней П.т.к. «местность» (как это и сделано тем же автором в определениях *фации ландшафтной, урочища* и *ландшафта географического* – см. ниже), то можно констатировать полное совпадение числа и «смысла» этих уровней и соответствующих ярусов в предлагаемой схеме иерархии живого.

Действительно, вот как определяется более или менее соответствующее понятию *субкомпартменты биогеоценоза* географическое понятие из этого перечня *фация ландшафтная* (отмечу при этом, что у последнего почти отсутствует биологическая составляющая и не указываются пространственные размеры): **«Фация ландшафтная,** элементарная морфологическая единица *ландшафта географического,* структурная часть *урочища*. Обычно совпадает с одним элементом мезорельефа (например, вершиной

холма, верхней частью его северного склона и т.п.) или с отдельной формой микрорельефа и характеризуется однородностью материнской породы, микроклимата, водного режима, почвы и расположением в пределах одного биоценоза. Многообразные варианты Ф.л. обусловлены естественными природными различиями, а также вырубкой лесов, распашкой, мелиорацией земель и др. формами деятельности человека» *[БСЭ,т.27,1977,С.222]* .

Сравнительный анализ всех вышеперечисленных определений позволяет сделать вывод, что ни один из упомянутых терминов не выглядит вполне подходящим для использования в рамках предлагаемой концепции. Поэтому в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «+1» в иерархии живого целесообразно оставить чисто системный термин *субкомпартменты биогеоценоза* (с характерными размерами порядка нескольких декаметров). Но для компактности изложения иногда всё же применять – именно в указанном смысле – и термин *популяция*.

**Ярус +2. Компартменты биогеоценоза (размер ~ гектометры)**

Следующий после яруса «Субкомпартменты биогеоценоза» (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Компартменты биогеоценоза» также не имеет общепринятого наименования, всеобъемлюще отражающего его основные характеристики в биологических терминах. Так, в достаточно близком в иерархическом смысле понятии *парцелла* опять-таки недостаточно четко отражены её геосоставляющая и пространственные размеры.

«Для обозначения горизонтальной неоднородности, или мозаичности, биогеоценоза введено понятие биогеоценотических **парцелл**. Как и биогеоценоз в целом, это понятие комплексное, т.к. в состав парцеллы на правах участников обмена веществ и энергии входят растительность, животные, микроорганизмы, почва, атмосфера» *[Дылис,БСЭ,1970б]*.

«**Парцеллы в биогеоценологии** [франц.: parcelle] – структурная часть горизонтального расчленения биогеоценоза, отличающаяся от других частей составом и свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена. Парцеллы отграничивают обычно по ведущему элементу растительности» (*[Биология,1999]*, стр. 452). При этом в этологии данный термин имеет другой смысл – внутрипопуляционной ячейки, или «дема».

Предлагается и иная терминология. Так, «**сукцессионные системы** можно рассматривать как сообщества высшего порядка, в которых отдельные сообщества исполняют роль функциональных блоков» *[Жерихин,Раутиан,1997]*. Но и здесь пространственные размеры таких систем не определяются, из-за чего их невозможно интерпретировать как относящиеся к тому или иному конкретному ярусу в иерархии живого.

В свою очередь, и в географическом понятии *урочища* практически отсутствует биологическая составляющая и не указываются пространственные размеры: **«Урочище** в физической географии, одна из морфологических частей *ландшафта географического,* сопряжённая система *фаций ландшафтных.* У. формируются чаще всего на основе какой-либо формы рельефа (выпуклой или вогнутой, единой по генезису и возрасту), располагаются на однородном субстрате и объединяются общей направленностью физико-географических процессов. Примеры У. – моренный холм, верховой болотный массив, солончаковая впадина. В широком понимании У. – любая часть местности, отличная от остальных (например, лес среди поля)» *[БСЭ,т.27,1977,С.87]* .

Сравнительный анализ всех вышеперечисленных определений позволяет сделать вывод, что ни один из упомянутых терминов не выглядит вполне подходящим для использования в рамках предлагаемой концепции. Поэтому в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «+2» в иерархии живого целесообразно оставить чисто системный термин *компартменты биогеоценоза* (с характерными размерами порядка нескольких гектометров, до километра). Но для компактности изложения иногда всё же применять – именно в указанном смысле – и термин *парцелла*.

**Ярус +3. СФЕРЫ БИОГЕОЦЕНОЗОВ (размер ~ километры)**

Этот интеграционный уровень в иерархии живого относится к основным.

«**Биогеоценоз** – взаимообусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом веществ и энергии; одна из наиболее сложных природных систем» *[Дылис,БСЭ,1970б]*.

«**Биогеоценоз** [англ.: biogeocenosis] – совокупность всех живых организмов, совместно населяющих участок суши или водоема и объединенных обменом веществ и энергии в единый природный комплекс с абиотическими факторами окружающей среды - приземным слоем атмосферы, почвой, светом и т.д.» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 66).

«**Биогеоценоз** – однородный участок земной поверхности с определенным составом живых (биоценоз) и косных (приземный слой атмосферы, солнечная энергия, почва и др.) компонентов, объединенных обменом веществ и энергии в единый природный комплекс. Совокупность биогеоценозов образует биогеоценотический покров Земли, а отдельный биогеоценоз представляет собой её элементарную единицу» (*[Биология,1999]*, стр. 62).

К сожалению, и здесь нигде нет упоминаний о пространственных размерах данного биообъекта. При этом второе определение явно неудачно стилистически – вначале читаешь, что это «совокупность

всех живых организмов», и только затем узнаешь, что это «единый природный комплекс», – но по существу почти совпадает с остальными. В третьем определении важно указание об *элементарности* биогеоценоза в рамках биосферы. Именно такой смысл в иерархии живого имеет и рассматриваемое в данном параграфе понятие.

Близким к понятию *биогеоценоза* является понятие *биоценоза*. Его чаще рассматривают как биологическую составляющую *биогеоценоза*, но иногда и почти как его синоним.

**«Биоценоз** (от био… и греч. κοινός – общий), совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих участок суши или водоёма и характеризующихся определёнными отношениями как между собой, так и с *абиотическими факторами* среды (см. *Биотоп*)» *[Гиляров,БСЭ,1970]*.

**«Биотоп** (био… и греч. τόπος – место), участок земной поверхности (суши или водоёма) с однотипными абиотическими условиями среды (рельеф, почвы, климат и т.п.), занимаемый тем или иным *биоценозом*. Характерный для данного Б. комплекс условий определяет как видовой состав организмов, так и особенности их существования и, в свою очередь, подвергается изменениям под воздействием биоценоза. Т.о., Б. – неорганический компонент *биогеоценоза*. Сходные Б. объединяют в *биохоры*, совокупности которых составляют *биоциклы*» *[БСЭ,т.3,1970,С.367]*.

В англоязычной литературе (а вслед за нею – зачастую и в отечественной) близкое по значению понятие обозначают как *экологическую систему* или *экосистему* (причем так же не указывая её характерные размеры).

«**Экосистема** – сообщество (любая группа организмов различных видов, сосуществующих в одном и том же местообитании или на одной площади и взаимодействующих посредством трофических и пространственных взаимоотношений) организмов с окружающей их физической средой, взаимодействующих между собой и образующих экологическую единицу» (*[Green,Stout,Taylor,1989 -1996]*, том 2, С. 78).

«**Экологическая система** – комплекс живущих организмов, их физического окружения, и всех их взаимосвязей в специфической единице пространства» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Ecosystem*).

«**Экосистема** – совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и образующих систему взаимообусловленных биотических и абиотических явлений и процессов... Термин **биогеоценоз** часто употребляется в том смысле, который придается термину **экосистема**» (*[Биология,1999]*, стр. 731).

«**Экологическая система** – информационно саморазвивающаяся, термодинамически открытая совокупность биотических экологических компонентов и абиотических источников вещества и энергии, единство и функциональная связь которых в пределах характерного для определенного участка биосферы времени и пространства (включая биосферу в целом) обеспечивает превышение на этом участке внутренних закономерных перемещений вещества, энергии и информации над внешним обменом (в том числе между соседними аналогичными совокупностями) и на основе этого неопределенно долгую саморегуляцию и развитие целого под управляющим воздействием биотических и биогенных составляющих» (*[Реймерс,1992]*, стр. 44).

«**Экологическая система** [англ.: ecological system, ecosystem] – совокупность живых организмов и условий их обитания, находящихся в закономерной взаимосвязи и обуславливающих соответствующие динамичные процессы, напр., обмен веществом и энергией. Природные **экосистемы** бывают разного объема и протяженности: от лужи с её обитателями – до океана, от пня или дерева – до леса, тайги и т.д.» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 398).

Следует отметить, что последние два определения трактуют *экологическую систему* в запредельно широком диапазоне размеров – от биосферы до лужи, – причем подобная трактовка встречается в литературе весьма часто. Как представляется, столь расширительная интерпретация указанного системного понятия не является вполне продуктивной, а поэтому и использование термина *экологическая система* представляется нецелесообразным.

В свою очередь, понятие *ландшафт географический* вполне можно соотнести с рассматриваемым понятием *биогеоценоз* (хотя и оно также не содержит пространственных размеров): **«Ландшафт географический** … конкретная территория, однородная по своему происхождению и истории развития, обладающая единым геологическим фундаментом, однотипным рельефом, общим климатом, единообразным сочетанием гидротермических условий, почв, биоценозов и закономерным набором морфологических частей – фаций и урочищ» *[Исаченко, БСЭ,1973]*.

Сравнительный анализ всех приведенных определений дает возможность сделать вывод, что именно термин *биогеоценоз* наиболее точно отражает тот смысл, который вкладывается в понятие основного уровня биологической интеграции иерархической системы поисковой оптимизации живого. Он и будет в дальнейшем употребляться применительно к базовым биообъектам основного яруса «+3» (с характерными размерами порядка нескольких километров, до 10-15 км).

**Ярус +4. Субкомпартменты Биогеосферы (размер ~ сотни километров)**

Следующий после яруса БИОГЕОЦЕНОЗЫ (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Субкомпартменты Биогеосферы» не имеет единого общепринятого наименования, всеобъемлюще от-

ражающего его основные характеристики в биологических терминах. Так, в достаточно близком в иерархическом смысле понятии *биохор* отражен лишь соответствующий неорганический компонент Биогеосферы: **«Биохор** (от био… и греч. χώροζ – пространство), подразделение *биосферы*, представляющее собой группу сходных *биотопов.* Б. объединяются в *биоциклы:* суша, море и внутренние водоёмы» *[БСЭ,т.3,1970,С.373]*. В определениях же сходных терминов *биом* и *биота*, органическую компоненту включающих, «привязка» к ярусам иерархи живого либо отсутствует, либо трактуется слишком расширительно (но пространственные параметры не упоминаются так же):

«**Биом** (англ. biome, от греч. βίοζ – жизнь и лат. -omat-, -oma – окончание, обозначающее совокупность), совокупность видов растений и животных, составляющих живое население данного района. Термин употребляется главным образом в зарубежной экологической и биогеографической литературе. К этому понятию близок термин *биота*, применяемый к более обширным участкам поверхности земли» *[БСЭ,т.3,1970,С.357]*. К сожалению, термин «*район»* в данном контексте не определен. Но «**Биота** (…), исторически сложившаяся совокупность растений и животных, объединённых общей областью распространения. В отличие от *биоценоза*, виды, входящие в состав Б., могут и не иметь экологических связей (например, кенгуру и двоякодышащая рыба цератодус, входящие в состав австралийской фауны). Однако во многих случаях одна и та же совокупность организмов может рассматриваться и как Б. (с позиций биогеографии) и как биоценоз (с позиций экологии)» *[БСЭ,т.3,1970,С.365]* – явно рассматривается как аналог биоценоза, т.е. относится к ярусу № «+3».

«**Биом** [англ.: biome] – крупное наземное сообщество, биоценоз (совокупность популяций разных видов, населяющая общую территорию), занимающее большие пространства суши» (*[Андреев и др.,1999]*, стр. 68 и 331). Термин *«большое пространство»* в данном контексте также не определен, но дается синоним – биогеоценоз – что эквивалентно отнесению понятия «биом» к ярусу № «+3».

«**Биом** – совокупность различных групп организмов и среды их обитания в определенной ландшафтно-географической зоне (напр. в тундре, хвойных лесах, аридной зоне и т.д.)» (*[Биология,1999]*, стр. 68). Упоминание о «ландшафтно-географической зоне» эквивалентно отнесению понятия «биом» к ярусу № «+5».

«**Биом** – также называемый *главной [major] зоной жизни* – самая большая географическая биотическая единица, главное сообщество растений и животных с подобными жизненными формами и условиями окружающей среды. Включают различные общности и стадии развития общностей и называются по имени доминирующего типа растительности, таких, как луг или хвойный лес. Несколько подобных **биомов** составляют “биомный тип” – например, тип лесов умеренного пояса включает **биомы** лиственных лесов Азии, Европы и Северной Америки» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Biome*). Понимание этого термина в данном контексте как «самой большой географической биотической единицы» требует отнесения его к ярусу № «+5», а как «самой большой географической биотической единицы» – к ярусу № «+3». Вывод очевиден: столь «размытые» термины не подходят для обозначения базовых биообъектов яруса «+4».

В свою очередь, и географическое понятие *физико-географическая провинция* недостаточно конкретно: **«Провинция физико-географическая,** одна из таксономических единиц *физико-географического районирования.* Выделяется внутри *зоны физико-географической* обычно по морфоструктурным признакам (низменности и возвышенности среди платформенных равнин, изолированные горные массивы и т.п.) и по провинциальным особенностям климата (увлажнение, степень континентальности и др.). П.ф.-г. объединяет ландшафты, относящиеся к одному зональному типу и близкие по возрасту и происхождению, в пределах *области физико-географической.* Например, Среднерусская физико-географическая область представлена 2 провинциями в зонах степей и лесостепей. В горных странах П.ф.-г. выделяются внутри областей по преобладанию того или иного зонального типа *высотной поясности.* Так, для Колхидской провинции Большого Кавказа характерны пояса широколиственных колхидских лесов и темно-хвойных лесов; в соседней Центрально-закавказской провинции эти пояса выпадают» *[БСЭ,т.21,1975,С.13]*.

Очевидно, что и данный термин не выглядит вполне подходящим для использования в рамках предлагаемой концепции. Поэтому в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «+4» в иерархии живого целесообразно оставить чисто системный термин *субкомпартменты Биогеосферы* (с характерными размерами порядка пары сотен километров). Но для компактности изложения иногда всё же применять – именно в указанном смысле – и наиболее близкий термин *биом*.

**Ярус +5. Компартменты Биогеосферы (размер ~ мегаметры)**

Природные объекты столь большой величины находятся в сфере внимания уже не столько биологии (а точнее – экологии), сколько географии или её раздела – биогеографии.

**«Зоны физико-географические,** природные зоны суши, крупные подразделения географической (ландшафтной) оболочки Земли, закономерно и в определенном порядке сменяющие друг друга в зависимости от климатических факторов, главным образом от соотношения тепла и влаги. В связи с этим смена зон и поясов происходит от экватора к полюсам и от океанов в глубь континентов. Обычно вытянуты в субширотном направлении и не имеют резко выраженных границ. Каждой зоне присущи типиче-

ские особенности составляющих её природных компонентов и процессов (климатического, гидрологического, геохимического, геоморфологического, почвенного и растительного покрова и животного мира), свой тип исторически сложившихся между ними взаимосвязей и господствующий тип их сочетаний – зональных природных территориальных комплексов. Многим З.ф.-г. название традиционно даются по наиболее яркому индикатору – типу растительности, отражающему важнейшие особенности большинства природных компонентов и процессов (лесные зоны, степные зоны, зоны саванн и др.). Название этих зон нередко присваивается и отдельным компонентам: тундровая растительность, тундрово-глеевые почвы, полупустынная и пустынная растительность, почвы пустынь и др. Внутри зон, обычно занимающих обширные полосы, различают более узкие подразделения – подзоны физико-географические. Например, зона саванн в целом отличается сезонным ритмом развития всех природных компонентов, обусловленным сезонным поступлением атмосферных осадков. В зависимости от количества последних и продолжительности дождливого периода внутри зоны различают подзоны влажных высокотравных, типичных сухих и опустыненных саванн; в зоне степей – сухие и типичные степи; в зоне лесов умеренного пояса – подзоны тайги (иногда её считают самостоятельной зоной), смешанных и широколиственных лесов и т.п. (…) В Физико-географическом атласе мира (1964) принято выделение 13 географических поясов, основывающееся на климатической классификации Б.П.Алисова: экваториальный пояс и по два (для обоих полушарий) субэкваториальных, тропических, субтропических, умеренных, субполярных и полярных» *[Лукашова,БСЭ,1972]*.

В сходном смысле употребляется и термин «**природные, или ландшафтно-климатические, зоны».** Это понятие определяют через более общее понятие: «***широтная климатическая зональность*** **–** закономерное распределение по поверхности планеты ландшафтно-климатических поясов, возникающее в связи с экваториально-полярным температурным градиентом» *[Еськов, 1999]*.

Наконец, именно в этом параграфе стоит упомянуть **«Биоциклы,** или жизненные области, три самых крупных подразделения *биосферы*: суша, море и внутренние водоёмы. Каждый Б. подразделяется на *биохоры*, включающие значительное число *биотопов*. Например, биотопы песчаных, глинистых и каменистых пустынь объединяются в биохор пустынь, который вместе с биохорами лесов, степей и др. составляет Б. суши. Термин *биологические циклы* употребляется в экологии в ином значении» *[Шилов,БСЭ,1970]*. Хотя выглядит это определение довольно искусственным и малоинформативным.

Очевидно, что вышеперечисленные термины не выглядят вполне подходящими для использования в рамках предлагаемой концепции. Поэтому в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «+5» в иерархии живого целесообразно оставить чисто системный термин *компартменты Биогеосферы* (с характерными размерами порядка нескольких тысяч километров, до 3000-3500 км). Но для компактности изложения иногда всё же применять – именно в указанном смысле – и термин *природная зона*.

**Ярус +6. БИОСФЕРЫ ПЛАНЕТ, в частности – БИОГЕОСФЕРА (размер ~ десятки мегаметров)**

Этот интеграционный уровень в иерархии живого относится к основным.

**«Биогеосфера** (от био…, гео… и *сфера*), оболочка земного шара, в которой сконцентрировано живое вещество планеты; расположена на границе контакта поверхностного слоя земной коры с воздушным океаном и в верхней части водной оболочки. Б. имеет ряд синонимов: слой сгущений жизни, плёнка жизни (В.И.Вернадский), биогеоценотический покров (В.Н.Сукачев), фитогеосфера (Е.М.Лавренко), эпигенема (Р.И.Аболин), витасфера (А.Н.Тюрюканов и В.Д.Александрова). Близко к Б. (по объёму) представление о ландшафтной оболочке Земли. В отличие от *биосферы*, включающей, по *В.И.Вернадскому*, помимо Б., также удалённые от неё части атмосферы и земной коры, Б. занимает только область концентрации живого вещества — плёнку, толщина которой варьирует от нескольких *м* (в степях, пустынях, тундрах) до десятков и сотен *м* (в лесных сообществах и морях) (…) Структура и активность Б. в пространстве очень неоднородны. Элементарными ячейками Б. являются *биогеоценозы*» *[Дылис,БСЭ, 1970а]*.

В свою очередь, «**Биосфера** – (живая) оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой в существенных чертах обусловлены прошлой или современной (совокупной) деятельностью живых организмов (охватывает часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, которые взаимосвязаны сложными биогеохимическими циклами миграции веществ и энергии (по В.И.Вернадскому, – *биогенная миграция атомов*) (…) Б. включает не только область жизни (биогеосферу, фитогеосферу, геомериду, витасферу), но и другие структуры Земли, генетически связанные с живым веществом. По Вернадскому, вещество Б. состоит из семи разнообразных, но геологически взаимосвязанных частей: живое вещество; биогенное вещество; косное вещество; биокосное вещество; радиоактивное вещество; рассеянные атомы; вещество космического происхождения» *[Ковда,Тюрюканов,БСЭ,1970]*, см. также *[Биология,1999]*, стр. 69-70.

Характеристика понятия Биосферы через неопределенные термины *экосистема* и *биота* ещё менее продуктивна: «**Биосфера** – относительно тонкая поддерживающая жизнь страта (слой) поверхности Земли, простирающаяся от нескольких километров в атмосферу до глубоководных впадин океана (между верхней тропосферой до многих сотен метров внутрь поверхностных слоев пористых камней и отложений). Биосфера – глобальная экосистема, состоящая из живых организмов (биота) и абиотических

(неживых) факторов, от которых она получает энергию и питательные вещества» (*[Encyclopedia Britannica,2000]*, *Biosphere, Evolution of the Biosphere*).

Таким образом, если исходить из первых двух определений, то соотношение между *Биогеосферой* и *Биосферой* оказывается обратным соотношению между *биогеоценозом* и *биоценозом*: согласно им получается, что Биогеосфера есть часть Биосферы, но, как было показано ранее, биоценоз есть часть биогеоценоза. Возможно, именно для преодоления этого противоречия Г.А.Заварзин использует понятие «**геосферно-биосферной системы**», которую, по его мнению, «необходимо рассматривать как целостность, задающую функционально значимые свойства своим компонентам. Традиционный путь от индивидуальных изменений к изменению целого оказывается недостаточным и ведет к ложным заключениям» *[Заварзин,2001б]*.

Но для целей настоящей концепции более компактным выглядит выбор для обозначения базового биообъекта основного яруса «+6» в иерархии живого термина *Биогеосфера* – при интерпретации его как более общего термина по отношению к термину *Биосфера* (аналогично соотношению терминов *биогеоценоз* и *биоценоз*). Он и будет в дальнейшем употребляться применительно к биообъектам с характерными размерами порядка нескольких десятков тысяч километров (ориентировочно до 50 тыс. км.)

**Ярус +7. Субкомпартмент «сферы планет земной группы»: «околопланетный» Космос, или комплекс «Земля-Луна и ближние спутники» (размер ~ сотни мегаметров)**

Идея о распространенности жизни в Космосе общеизвестна и практически не оспаривается. В частности, на ней основана известная гипотеза панспермии (занесения живых существ на Землю из космоса). Но, насколько можно судить по литературе, структуризация тех или иных зон Космоса, и в частности – Ближнего Космоса (понимая под последним Солнечную систему), в рамках этой идеи не проводится. Этим можно объяснить тот факт, что следующий после яруса БИОГЕОСФЕРЫ (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Субкомпартменты Сферы планет земной группы» не имеет наименования, отражающего его основные характеристики в данном контексте.

Таким образом, в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «+7» в иерархии живого будем использовать либо чисто системный термин *субкомпартменты Сферы планет земной группы*, либо производные от него (т.е. подходящие к объектам с рассчитанными размерами) термины *«околопланетный» Космос или комплекс «Земля-Луна и ближние спутники»* (с характерными размерами порядка нескольких сотен тысяч километров, до 700-800 тыс. км).

**Ярус +8. Компартмент «сферы планет земной группы»: «промежуточный» Космос, или комплекс «Земля-дальние спутники» (размер ~ гигаметры)**

По аналогичным причинам, следующий после яруса «Субкомпартменты сферы планет земной группы» (высший) в иерархии живого промежуточный ярус «Компартменты Сферы планет земной группы» не имеет наименования, отражающего его основные характеристики в данном контексте.

Таким образом, в качестве обозначения для базовых биообъектов промежуточного яруса «+8» в иерархии живого будем использовать либо чисто системный термин *компартменты Сферы планет земной группы*, либо производные от него (т.е. подходящие к объектам с рассчитанными размерами) термины *«промежуточный» Космос или комплекс «Земля-дальние (гипотетические) спутники»* (с характерными размерами порядка нескольких миллионов километров, до 10-12 млн. км).

**Ярус +9. «СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ»: «Ближайший» Космос (размер ~ десятки гигаметров)**

Этот интеграционный уровень в иерархии живого относится к основным.

По изложенным выше причинам, следующий после яруса «Компартменты сферы планет земной группы» (высший) в иерархии живого основной ярус СФЕРА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ также не имеет наименования, отражающего его основные характеристики в данном контексте.

Таким образом, в качестве обозначения для базовых биообъектов основного яруса «+9» в иерархии живого будем использовать либо термин *Сфера планет земной группы* (в общем случае *Сфера «близкорасположенных» планет*), либо производный от него (т.е. подходящий к объектам с рассчитанными размерами) термин *«Ближайший» Космос* (с характерными размерами порядка нескольких десятков миллионов километров, или около одной астрономической единицы).

**Ярусы +10, +11, +12 и т.д.**

Поскольку, как будет показано ниже (в разделе 7), эти ярусы реально не функционируют в иерархической системе живого (т.к. характерные времена соответствующих процессов намного превышают время существования наблюдаемой нами Вселенной), их рассмотрение в данной последовательности ярусов живого не имеет смысла.

## 3.7. Эволюция

### 3.7.1. Терминология и источники

Вот как этот термин определяют с позиций кибернетики и информатики: «Термин ***эволюция*** в самом широком смысле означает изменение систем во времени. В более узком смысле ***эволюция*** – это прогрессивное (поступательное) развитие» *[Марков,Растригин,1977б]*. «***Эволюцией*** называется закономерное изменение структуры системы соответственно историческим изменениям соотношений с внешней средой» (*[Айламазян,Стась,1989]*, стр. 48).

БСЭ дает определение с философских позиций: «***Эволюция*** (от лат. evolutio – развертывание), в широком смысле синоним *развития*; в более узком – один из основных типов развития: медленные, постепенные количественные и качественные изменения, в отличие от *революции.* При этом каждое новое состояние объекта имеет по сравнению с предшествующим более высокий уровень организации и дифференциации функций. Различают индивидуальную Э. (какого-либо отдельного объекта) и всеобщую Э. (природы, жизни). В процессе Э. важную роль играют как внутренние факторы, так и внешние условия существования объектов. Изменения в ходе Э. носят разнонаправленный характер. Диалектический материализм рассматривает Э. и революцию как взаимосвязанные и взаимообусловленные стороны развития, выступая против абсолютизации какой-либо одной из них» *[БСЭ,т.29,1978,С.558]*. Данное определение вполне универсально, причем в обоих смыслах, и широко используется как в научном контексте, так и в бытовом словоупотреблении. Правда, при более пристальном анализе неизбежно возникает вопрос: «А что такое *медленно*? Что является мерилом медленности?»

Ответ на этот вопрос может быть сформулирован после рассмотрения ещё одного определения БСЭ: «***Эволюция биологическая*** – историческое развитие *организмов* (курсив мой – С.Г.). Определяется наследственной изменчивостью, борьбой за существование, естественным и искусственным отбором. Приводит к формированию адаптаций (приспособлений) организмов к условиям их существования, изменениям генетического состава популяций, видов, образованию, а также вымиранию менее приспособленных видов, преобразованию биогеоценозов и биосферы в целом. Впервые термин «Э.» был использован в биологии швейцарским естествоиспытателем и философом Ш.Бонне (1762). Причины и закономерности Э. составляют предмет *эволюционного учения*» *[БСЭ,т.29,1978,С.558]*. Достаточно очевидно, что, говоря об «историческом развитии организмов», имеют в виду темпы процессов эволюции, *медленные именно по сравнению с темпами процессов, происходящих в организме человека*. Но которые вполне могут выглядеть весьма быстрыми с других точек зрения. Сравним этот вывод с мнением С.Э.Шноля о проблеме воспроизводимости экспериментальных результатов и «парадоксальных» наблюдениях: «В соответствии с традициями стохастического подхода достоверными полагаются лишь сообщения о воспроизводимых явлениях. Однако вполне реальны весьма редкие события и явления, которые не в состоянии контролировать наблюдатель (чем он принципиально отличается от экспериментатора). Естественно, что сообщения о таких событиях могут оказаться ложными, ошибочными. Однако столь же естественно они могут оказаться и истинными. Одной из причин «невоспроизводимости» некоторых феноменов может быть *несовпадение характерного для данного явления времени со временем жизни исследователя* (курсив мой – С.Г.)» (*[Шноль,1984]*, стр. 92).

Анализируя подходы к теории эволюции, А.А.Ляпунов пишет: «... в каждый момент времени система в целом может быть охарактеризована численностью своих объектов, информацией для выработки сохраняющих реакций, которой обладают её элементы, и, наконец, материальными возможностями реализации этих сохраняющих реакций. С течением времени эта характеристика системы меняется. Основными факторами, определяющими изменение этой характеристики, являются: а) механизм отбора; б) процесс мутации; в) режим размножения; г) процессы индивидуального развития.

Естественно, что все эти процессы протекают под воздействием внешних условий. При этом к числу внешних воздействий на каждый объект необходимо прибавлять воздействие на него всей системы в целом. Изменение описанной выше характеристики системы во времени рассматривается как её ***эволюция***. Изучение эволюции сложных систем есть одна из задач кибернетики. Эволюция живой природы есть один из частных случаев этой общей задачи (…) При рассмотрении эволюции живой природы в целом в качестве отдельных объектов могут фигурировать: *клетки* – тогда системой будет являться организм; *особи* – системой будет популяция; *популяции* – системой будет биологический вид (именно такой аспект эволюционной теории принято называть дарвинизмом. Впрочем, для развития дарвинизма необходимо рассматривать двухступенчатую концепцию отбора: отбор особей в популяции и отбор популяций в системе вида. Первое связано с симпатрическим возникновением новых форм, второе – с аллопатрическим). Биогеоценозы разных масштабов могут также рассматриваться как отдельные объекты, входящие в системы. Тогда системой будут являться биогеоценозы следующего уровня вплоть до биосферы в целом» (*[Ляпунов,1980]*, стр. 228-229).

С позицией А.А.Ляпунова по большинству вопросов трудно не согласиться. Но – кроме его последних замечаний, трактующих «эволюцию живой природы в целом» как совокупность нескольких иерархических *пар* «объект-система». С позиций предлагаемой концепции все такие пары должны рассматривать, во-первых, как имманентно «увязанные» попарно в одну общую *системную «вертикаль»* (что ха-

рактеризует систему природы), а во-вторых – как содержащие существенно повышающие её целостность нисходящие связи между уровнями, реализующие *системную память* (что характеризует подсистему живого системы природы). Таким образом, с позиций предлагаемой концепции ***эволюцию*** следует рассматривать как адаптацию, происходящую на иерархических уровнях, «медленных» по отношению к организму: биогеоценотическом и биогеосферном.

Интернет-сайт проекта Principia Cybernetica дает сразу четыре определения и несколько комментариев: «***Эволюция***: (1) процесс непрерывного изменения от низшего, простейшего или худшего, – к более высокому, сложному или лучшему состоянию; процесс изменения в некотором направлении (Webster's). (2) процесс перехода в состояние нового и высшего порядка (Laszlo). (3) развитие каждого вида от различных, обычно более простых наследственных форм. Чем более подобны два вида, тем, вероятно, они ближе во времени к общему предку (Arbib). (4) история изменения в реализации инвариантной организации, воплощенной в независимых единицах, последовательно сгенерированных путем репродуктивных шагов, в которых индивидуальная структурная реализация каждой единицы возникает как модификация предшествующей (предшествующих), и которая, таким образом, конституирует как свое продолжение, так и исторически достоверное прошлое (Maturana, Varela, 1979).

Теория, связанная с объяснением того, как существующее разнообразие видов организмов, растений и животных возникло путем прогрессивного расхождения наследственных форм, взаимодействующих с их соответственными окружающими средами. В теории, по существу, противостоят друг другу два процесса: во-первых, возникновения разнообразия в унаследованных от предков природных данных ("даровании" – endowment) видов, генерируемое комбинированием генетического материала путем совмещения родительских организмов либо существенно случайной мутацией гена, либо в структуре хромосом. Во-вторых, возникновения разнообразия в организмах как результата соответствующих генетических природных данных, редуцированных естественным отбором, то есть устранением тех организмов, которые либо неспособны к развитию, либо плохо подготовлены к жизни в их среде. То, что выживает после чередующегося давления этих двух процессов, и есть тот генетический материал, который доказал, что он благоприятен. С позиций биологии эволюция – это теория связи *генетической информации* в присутствии шума и посредством канала отбора, обеспечиваемого растущими организмами, с критериями отбора, обусловленными прежде всего взаимодействием среды и организма. С позиций кибернетики, эволюция – это процесс, в котором разнообразие поочередно генерируется и разрушается таким образом, что та форма, которая сохраняется (выживает), не влияет на другую. Разъясним три обычных недоразумения: эволюция – по существу стохастический процесс, а не детерминированный, она относится к взаимодействию между видами или организмами и их средами, а не к отдельным организмам. Эволюция позволяет выжить всем тем организмам, которые не развивают или не демонстрируют неблагоприятные свойства. Это не благосклонность к самым приспособленным. Эволюция – оппортунистический процесс, ни постепенно прогрессирующий, ни управляемый какой бы то ни было специфической целью. "Инстинкт выживания", постулированный многими биологами и укоренившийся в популярной культуре, не существует (Krippendorff)» *[Principia…]*.

Многое здесь верно, особенно если «критерии отбора, обусловленные ***прежде всего*** (курсив мой – С.Г.) взаимодействием среды и организма», не понимать, как это обычно делают, как критерии отбора, обусловленные ***только и исключительно*** взаимодействием среды и организма. Но с последним утверждением, приведенном в цитате, согласиться никак нельзя. С точки зрения предлагаемой концепции, эволюция как раз процесс ***не*** "оппортунистический"*, а, напротив,* ***активный*** *и управляемый специфической целью – достижения экстремумов целевых критериев энергетического характера, задаваемых на биогеоценотическом и биогеосферном уровнях интеграции системы живого. И если понимать* "инстинкт выживания" *именно в этом смысле, то он, безусловно, имеет место.*

Говоря об эволюции, Н.Ф.Реймерс указывает: «Равномерно линейная дарвиновская эволюция математически нереальна. Явно она была каскадным процессом, "эволюцией эволюций" на каждом уровне иерархии природных систем. Действовал лингвистический принцип, хорошо освещенный в работах С.Э.Шноля *[Шноль,1989,1990]* для генетического уровня биосистем: шел отбор не "букв", а "слов" и "предложений" – иероглифов и их сочетаний, определяемых более высокой по иерархии системой В этом случае естественный отбор идет среди природных систем, требуя несоизмеримо меньшего времени. Математические расчеты общего разнообразия генетического кода – меры генетической информации – позволили немецким биохимикам рассчитать его возраст: 3,8±0,6 млрд. лет. Это число вполне укладывается в известные рамки палеонтологических находок: органические вещества современного типа появились 3,8 млрд. лет назад (Гренландия), а организмы 3,5 млрд. лет назад (австралийские находки). Кассетный биогеоиерархический принцип в эволюции мог вызывать ускорения в её ходе. Не исключено, что они были столь велики, что промежуточных форм практически не существовало. Эволюция шла как "массовая болезнь" *[Stanley H. Evolution as a Disease // Chemtech. 1987. V. 17. № 8. P. 460-463]* – одновременное появление многих одинаковых мутантов» (*[Реймерс,1992]*, стр. 137). Здесь трудно не согласиться с мнением, что именно иерархичность эволюционирующей системы живого определяет её успешность и относительную кратковременность. В частности, тот факт, что она уложилась лишь в не-

сколько миллиардов лет, а не в намного более длительный (на много порядков) срок, как это предсказывают некоторые её не вполне адекватные модели – см., напр., *[Тарасов,1980,1981]*.

На этот же факт указывает и А.В.Марков: «Существенно облегчает прогрессивное усложнение живых систем **блочный принцип их организации**. Новые, более сложные системы складываются из готовых функциональных блоков уже имеющихся, более простых систем. Это правило действует как на молекулярном уровне (новые гены/белки могут собираться путем дублирования и перекомбинации кусков старых генов/белков), так и на организменном (через коадаптацию и симбиоз новый, более сложный организм может сложиться из сообщества нескольких простых организмов). Радикальное усложнение организма путем подбора мелких случайных мутаций крайне маловероятно (или даже вообще невозможно). Но если допускается объединение уже готовых, функционирующих, проверенных временем и отшлифованных отбором частей, то самопроизвольное образование более сложного целого становится вполне вероятным» *[Марков А.В., 2003б]*.

Н.Н.Моисеев пишет: «При достаточно общей трактовке понятий “изменчивость”, “наследственность” и “отбор” любое изменение, любую эволюцию можно понимать в дарвиновском смысле. Однако механизмы, реализующие процесс развития, могут быть весьма различными» (*[Моисеев,1986]*, стр. 72). И позднее уточняет свою позицию: «Если бы процессы самоорганизации живого вещества основывались бы только на чисто дарвиновской схеме, то для достижения современного уровня развития живого мира потребовалось бы не 4 миллиарда лет, а на много порядков больше. Другими словами, чисто дарвиновская схема естественного отбора на определенном этапе развития живого вела бы к прекращению процесса. Значит, развитие живого мира не может происходить по принципу, что каждое новое свойство, утверждающееся в качестве наследственного признака, дает виду новые преимущества. Отсюда следует, что классическая дарвиновская схема должна быть качественно усложнена. Но как? Ответа на этот вопрос я не знаю» (*[Моисеев,2001]*, стр. 56). Свои соображения на эту тему я привожу ниже, в разделе 4.

### *3.7.2. «Направленность» и «канализируемость» эволюции*

По мнению В.И.Вернадского, «…в эволюционном процессе, который для нас есть величайшее эмпирическое обобщение, вскрытое в его господствующей ныне (1941-1942 гг.) форме одновременно двумя англичанами Ч.Дарвином (1809-1882) и А.Уоллесом (1822-1913) в 1855 г., (...) обычно не допускают *направленности процесса эволюции*» (*[Вернадский,1975а]*, стр. 74). Но, с другой стороны: «живое вещество является *пластичным* (курсив цитируемого автора – С.Г.), изменяется, приспособляется к изменениям среды, но, возможно, имеет и свой процесс эволюции, проявляющийся в изменении с ходом геологического времени, *вне зависимости от изменения среды* (курсив мой – С.Г.)» (*[Вернадский,1975б]*, стр. 18).

К.Ю.Еськов в своей работе «История земли и жизни на ней» формулирует следующее «аксиоматическое утверждение: эволюция биосферы и составляющих её экосистем идет в целом в направлении возникновения все более совершенных, т.е. *устойчивых и экономных*, круговоротов вещества и энергии» *[Еськов, 1999]*. Критикуя некоторые положения доминирующей, по мнению многих, в настоящее время так называемой «синтетической теории эволюции» (СТЭ), Ю.В.Чайковский пишет: «“Случайная **ненаправленная** мутация” оказалась детерминирована цепью ферментативных реакций, и случайными сейчас считают не сами мутации, а те их стадии, механизм которых ещё не известен, например, акт посадки нуклеозидтрифосфата на комплекс ДНК с репликазой» (*[Чайковский,1976]*, стр. 148-149).

Сформулирован и экстремальный принцип, определяющий *направление* эволюции сообществ: «Предпочтительны состояния системы с экстремальным количеством сохраняющих систему преобразований» *[Левич,1978]*. В информационный формулировке этот принцип соответствует выводу о приоритете структур с наибольшей информационной емкостью *[Пых,1983]*.

В свою очередь, Н.Ф.Реймерс указывает, что в целом развитие биосистем «…эволюционно однонаправленно и подчиняется *закону эколого-системной направленности эволюции*: любые эволюционные изменения в конечном итоге направлены экологическими факторами и системными особенностями развития эволюционизирующей совокупности, т.е. прогресс направляется как внешними, так и внутренними факторами. Внешними для развивающейся системы живого служат все воздействия надсистем – от Вселенной до ближайшей по иерархии, которые выступают как ограничения развития и как механизмы, к которым развивающаяся совокупность живого или с его участием вынуждена адаптироваться. Развитие каждой из надсистем ведет к изменению условий существования, ужесточающих естественный отбор и одновременно вызывающих усиление мутационного процесса (...) Одновременно действуют внутренние факторы, прежде всего термодинамические. Среди них *законы минимума диссипации (рассеивания) энергии Л.Онсагера* (или *принцип экономии энергии*: “при вероятности развития процесса в некотором множестве направлений, допускаемых началами термодинамики, реализуется то, которое обеспечивает минимум диссипации энергии”) и *максимизации энергии и информации* (“наилучшими шансами на самосохранение обладает система, в наибольшей степени способствующая поступлению, выработке и эффектному использованию энергии и информации; максимальное поступление вещества как такового не гарантирует системе успеха в конкурентной группе других аналогичных систем” – развитие *закона мак-*

*симизации энергии* Г. и Э.Одумов). Внешне это выражается в виде действия закона увеличения размеров (роста) и веса (массы) организмов в филогенетической ветви (Э.Копа и Ш.Депере).

Единичные, как будто бы случайные, мутации на самом деле в массе направлены внешними воздействиями и внутренними механизмами. В основе последних лежат энергетические и физико-химические закономерности (в том числе молекулярно-генетические). Все это объясняет значительную скорость эволюции, математически не укладывающуюся в представления о полной случайности и ненаправленности механизмов прогресса. Массовые разновекторные изменения вынужденно вливаются в поток, определяемый эволюцией иерархически высших надсистем. Для жизни на Земле – изменениями её экосферы, а в более длительном интервале времени – переменами в экосфере Солнца и прилегающей части Галактики. Эволюция как иерархическая совокупность многих эволюций подобна “матрешке”, состоящей из многих векторов, суммарно направляемых всеми перечисленными процессами. Число степеней свободы для развития зависит от глубины специализации: чем уже специализирован вид, тем более специфичные условия жизни ему нужны. Он как бы попадает в тоннель без выхода в перспективу. Эти факты обобщает *правило происхождения новых видов от неспециализированных предков* Э.Копа (1896): новые крупные группы организмов берут начало не от специализированных представителей предков, а от их сравнительно неспециализированных групп. Это правило дополняет *принцип дивергенции Ч.Дарвина* (1859), или *правило адаптивной радиации* Г.Ф.Осборна (1902): филогенез любой группы сопровождается разделением её на ряд отдельных филогенетических стволов, которые расходятся в разных адаптивных направлениях от среднего исходного состояния» (*[Реймерс,1992]*, стр. 68, 55-56).

Таким образом, предлагаемая концепция и позиция Н.Ф.Реймерса, подкрепленная в цитированной работе огромным объемом базисной и обобщающей биологической и экологической информации, весьма близки. И в вопросе об определенной направленности «как будто бы случайных мутаций», действительно *направляемых* внутренними механизмами (обеспечения стремления к экстремуму энергетической целевой функции). И о «потоке изменений, определяемом эволюцией иерархически высших надсистем», т.е. *канализируемых* (ограничиваемых только допустимыми из всех теоретически возможных направлений) целевыми критериями типа ограничений и *системной памятью*. И в общности использования таких эффектных метафор, как «матрешка» и «тоннель».

Если обратиться к работам, размещенным на одном из содержательных сайтов Палеонтологического института РАН, то на странице, озаглавленной «О тупике, в котором оказалась СТЭ (синтетическая теория эволюции) и о путях выхода из этого тупика» читаем: «Причина кризиса СТЭ – в редукционизме, в игнорировании сложнейшей иерархической структуры биосферы, где на каждом из уровней системной организации живого действуют свои особые законы развития, не сводимые к простой сумме элементарных процессов на низших уровнях (например, к изменению частот генов в популяциях)» *[Марков А.В.,2003а]*. Подобная постановка вопроса весьма созвучна и предлагаемому мною концептуальному подходу к указанным проблемам.

И здесь же, в разделе «Эволюция на основе закономерностей, а не случайностей» отмечается: «Многие эволюционисты-теоретики сейчас на новом уровне возвращаются к идеям Л.С.Берга и П.Тейяра де Шардена – к номогенезу, к внутренне присущей живому тенденции к совершенствованию. Но сейчас это уже не идеализм. Тенденция к прогрессу вполне материальна и заложена в системных свойствах живого. Редукционизм, сведение эволюции к "случайным мутациям" отдельных генов, отжил свой век. Эволюцию следует рассматривать как системный процесс, в котором определяющим фактором являются свойства целостных систем (биосферы, биоценозов, видов, популяций и организмов) *[там же]*.

Наконец, в разделе «К построению системной теории эволюции» читаем: «Системный характер эволюции проявляется, например, в том, что многие (возможно, все основные) эволюционные новообразования появились вовсе не за счет "постепенного накопления случайных мутаций", и не за счет крайне маловероятных "полезных макромутаций", а за счет *перекомбинации готовых функциональных блоков живых систем*. Ярким проявлением этого общего принципа является системообразующая, интегрирующая роль симбиоза. Так, симбиоз нескольких бактерий привел к возникновению эукариотической клетки. Подобные симбиотические образования возникают и по сей день, воспроизводимы в эксперименте. Сама жизнь, по одной из гипотез, возникла путем симбиоза абиогенно синтезированных РНК и белковых частиц. Многоклеточность возникла в результате незавершенного деления, фактически – симбиоза множества потомков одной клетки. В других ароморфозах, по всей видимости, сыграл большую роль горизонтальный перенос генов, т.е. фактически – симбиоз геномов разных групп организмов.

СТЭ пытается свести эволюцию к изменениям частот генов в популяциях под действием отбора. При этом многое упускается из виду. Во-первых, ***живой организм*** - это не просто сумма отдельных признаков (или генов), а сложная целостная система, в которой все взаимосвязано. Индивидуальное развитие организма – ***онтогенез*** – это тоже сложнейшая система со своими внутренними корреляциями и регуляциями. Сложившаяся структура организма и его онтогенеза не допускает случайных, произвольных изменений в любом направлении. Она накладывает жесткие ограничения на эволюционные преобразования и придает им четкую направленность. Во-вторых, организмы эволюционируют не сами по себе, а в составе сложных систем высшего порядка – ***сообществ, или биоценозов***. Структура сообщества тоже накладывает жесткие ограничения на эволюцию организмов и направляет её. Ситуация в корне меняется во время экологических кризисов, когда структура сообществ разрушается и "ценотическая

регуляция" эволюции временно ослабевает. В эти кризисные периоды эволюция организмов становится более быстрой и несогласованной – "некогерентной". В-третьих, большие группы близкородственных видов – ***крупные таксоны*** – тоже часто ведут себя как целостные системы, поскольку входящие в них виды потенциально претендуют на одни и те же ниши и из-за этого между ними в процессе эволюции складываются особые отношения. Это проявляется в закономерной смене фаз развития крупных таксонов (филогенетический цикл). В-четвертых, живые системы имеют ещё и сложную пространственную – биогеографическую – структуру. Локальные блоки биоты – ***региональные флоры и фауны*** – тоже обладают своими собственными законами развития; между ними складываются особые взаимоотношения, проявляющиеся, например, в направленности миграций, в том, что одни регионы становятся "центрами диверсификации", другие - областями вселения, и т.д.» *[там же]*.

Читателю судить, насколько этот перечень проблем теории эволюции нашел свое отражение в предлагаемой в настоящей монографии концепции иерархической адаптивной поисковой оптимизации живого.

Отмечу также, что проблема направленности и канализируемости эволюции имеет отношение не только к области теоретической биологии, биологического эволюционизма и т.п.: она выходит далеко за рамки собственно биологии. Так, обсуждая методологические проблемы эволюционной экономики и отстаивая при этом положение о необратимости экономической эволюции, В.И.Маевский вынужден указывать, что «некоторые экономисты, опираясь на *известное* (курсив мой – С.Г.) положение, что в биологии отсутствует заданность, целенаправленность эволюции, ставят под сомнение стадиальные концепции экономического и технологического развития, согласно которым каждая последующая стадия является в некотором отношении более прогрессивной относительно предыдущих. По их мнению, данные концепции неизбежно вводят в анализ Бога, идеализируют развитие, упрощают его до линейного, поступательного процесса» *[Маевский,2000]*. С моей точки зрения, позиция этих «некоторых экономистов» базируется сразу на двух недоразумениях. Первое связано с якобы общепринятым положением об отсутствии направленности и канализируемости в процессах биологической эволюции (хотя, как отмечалось выше, ряд известных биологов настаивает на данном положении), второе – с постановкой знака равенства между механизмом реализации такой направленности и Богом. Предлагаемая концепция утверждает, что *направленность* и *канализируемость* в эволюции системы живого имеют место, но понимать их следует в совершенно конкретном материальном смысле. Первую – как проявление *стремления* системы к экстремумам энергетических целевых критериев (на всех основных уровнях иерархии живого), а вторую – как проявление в реализации *ограничений* на такое «энергетически» целенаправленное поведение иерархической оптимизационной системы живого действия целевых критериев оптимизации типа ограничений и *системной памяти*.

## *3.8. О сходных или дополняющих концепциях*

### *3.8.1. О симбиозе и «сродстве»*

Вот как определяют характер взаимодействий между биологическими объектами (для случая организмов): «Среди всего многообразия взаимоотношений между организмами выделяются:

- хищничество, как форма взаимоотношений организмов разных трофических уровней, при которой один вид живет за счет другого, поедая его;
- паразитизм;
- конкуренция – форма взаимоотношений, при которых организмы борются за пищу и другие условия существования, подавляя друг друга;
- симбиоз – это обоюдовыгодные, но не обязательные взаимоотношения разных видов организмов;
- мутуализм – взаимовыгодные и обязательные для роста и выживания отношения разных видов;
- комменсализм – взаимоотношения, при которых один из партнеров извлекает выгоду, а другому они безразличны» *[Попов,Толстихин,2000]*.

Анализируя проблему симбиотических взаимоотношений в прошлом, Г.А.Заварзин утверждает: «Эмпирический факт заключается в том, что не существует эвкариота, возникшего без предшествующего эндосимбиоза. Вероятно, проэвкариот, так до сих пор и не найденный, уже был химерой, но ещё не обладал сложной структурой *[Herrmann R.G. Eukaryotism, towards a new interpretation. Eukaryotism and symbiosis. Intertaxonomic combination versus symbiotic adaptation. Berlin, 1997. P.63-116 / Eds H.F.A.Schenk, R.G.Herrmann, K.W.Jeon et al.]*» *[Заварзин,2002]*.

Краткий исторический обзор развития соответствующих исследований приводит Ю.И.Чайковский: «Слово "симбиоз" тут не к месту: молекулы не живут, а потому вступают не в симбиоз, а в физическое или химическое взаимодействие. Однако отмеченное сходство процессов действительно имеет место – самые, казалось бы, несходные объекты склонны соединяться друг с другом, образуя нечто новое; но о симбиозе принято говорить только тогда, когда объекты – организмы. Эту тягу разнородных объектов друг к другу для образования качественно нового целого отмечали многие (…) это были Гесиод и Эмпедокл с их принципом любви и Мопертюи с его принципом сродства, заимствованным из химии (…) Кропоткин с его принципом взаимопомощи. В XX в. этому принципу давали и другие названия

(например, социабильность), но я предпочту самый нейтральный – *сродство* (англ. affinity), понимая под ним все возможные формы стремления частей к целому. Мопертюи заимствовал это понятие из тогдашней химии, где этот термин (его ввел в XVII веке Роберт Бойль) обозначал всякую способность веществ к реакции друг с другом. *"Лишь с того времени, как ввели сродство в качестве причин всех соединений, стало возможным рассматривать химию как науку, имеющую общие принципы"* – писал двести лет назад Клод-Луи Бертоле. По мере прогресса химии сродство конкретизировалось, детализировалось и, наконец, оказалось почти ненужно химикам – теперь они говорят о валентности, межатомных силах и многом другом. Но в биологии путь, намеченный Мопертюи, едва начат…, и пройти его, по-моему, необходимо. (Кстати, сродством в его нынешнем понимании воспользовались в своих теориях Руденко и Эйген.) А затем пусть "сродство" растворится в будущем научном языке биологии» *[Чайковский,1999]*.

В свою очередь, К.Ю.Еськов уточняет: «Мысль о том, что растительная и животная клетки являют собой “симбиотический комплекс” была впервые высказана К.С.Мережковским (1909) и затем обоснована А.С.Фаминцыным (тем самым, который ранее, в 1867 г., доказал симбиотическую природу лишайников); автором же концепции в её современном виде считают Л.Маргулис» *[Еськов, 1999]*.

Наконец, упомяну мнение Е.Н.Панова: «Вероятно, не будет ошибкой сказать, что потребность живых существ, способных к самопроизвольному движению (будь то одноклеточные микроорганизмы или высшие животные), поддерживать контакт с другими представителями своего вида есть лишь частное проявление фундаментального закона органической жизни. Суть этого закона в том, что живые структуры всегда, когда есть возможность, образуют коалиции. При этом участники содружества оказываются способными решать задачи, непосильные для каждого из них в отдельности. Сфера действия этого принципа охватывает все этажи органического мира – от взаимодействия слагающих организм клеток до социальных взаимоотношений в популяциях всех населяющих нашу планету живых существ, включая и Человека Разумного. В основе стремления биологических тел кооперироваться с себе подобными лежат самые разные механизмы – от физико-химических до психологических. Но коль скоро результат кооперации зачастую важнее, чем вызывающие её причины, для некоторых целей полезно объединить все эти явления под общим наименованием: “*Сродство частей к целому*”» (курсив автора). А польза от этого в том, что мы приучаемся видеть общие по сути закономерности в явлениях, казалось бы, совершенно разнородных (…) Бессознательной кооперации элементарных биохимических структур мы обязаны первыми проблескам жизни на Земле (*[Панов,2001]*, стр.12-15). На важную роль симбиоза в явлении жизни указывает и А.М.Хазен *[Хазен,2000]*.

С позиций же предлагаемой концепции понятия *симбиоза* и симбиотических отношений из достаточно локальных превращаются в абсолютное правило, в *непременное фундаментальное свойство приспособительного поведения живого*. Теоретически любой биообъект низшего яруса в иерархии может жить в биообъекте высшего яруса (точнее, в занимаемой им зоне пространства), причем, опять-таки теоретически, в максимально широком диапазоне возможных взаимодействий с ним: от полной включенности в его механизм до полной индифферентности.

### *3.8.2. Концепция биоинформации В.И.Корогодина*

В.И.Корогодин предлагает использовать для описания объектов живой природы (в отличие от таковых для неживой) понятия целенаправленности и целесообразности. Он пишет: «*целесообразность* есть такая организация какого-либо объекта, которая *предусматривает* возможность осуществления им *целенаправленных* действий (здесь и далее курсов автора – С.Г.)» (*[Корогодин,1991]*, стр.21-22). На основе этого представления он и развивает информационный подход к понятию жизни, отмечая при этом, что «сама по себе информация абсолютно пассивна: для обеспечения её создания, передачи, приема, хранения и использования обязательно требуются специальные материальные устройства (которые он называет операторами $Q$ – С.Г.)» (*[там же]*, стр.25).

Далее В.И.Корогодин рассматривает энергетический аспект информации, отмечая, что «КПД оператора, как и любой другой машины, можно выразить отношением *полезно* затрачиваемой энергии к общему её расходованию оператором при осуществлении целенаправленного действия. Согласно определению, *полезной* будем называть ту энергию $E_Z$, которая расходуется только на осуществление “полезного действия”, т.е. на достижение цели $Z$. Следовательно, разность между общей и полезной энергией идет на “производство” побочного продукта $W$ данного целенаправленного действия:

$$КПД_Q = \frac{E_Z}{E} = \frac{E_Z}{E_Z + E_W} \ .$$

Какие же характеристики информации, и в какой мере обусловливают КПД её оператора? К сожалению, строгих подходов к ответу на этот вопрос пока не существует. Лишь интуитивно можно полагать, что в самом общем случае расходы энергии на работу оператора должны возрастать с увеличением его сложности, а чем больше относительное количество “полезно” затрачиваемой энергии $E_Z$, тем больше вероятность достижения цели в данном пространстве режимов при использовании данного оператора… Можно высказать предположение, что *коэффициент полезного действия оператора должен возрас-*

*тать с увеличением эффективности кодирующей его информации* (! – С.Г.). Это утверждение, если его удастся строго доказать, может вполне претендовать на роль основной теоремы будущей теории информации» (см. *[Корогодин,1991]*, стр. 77-78, а также *[Корогодин,Корогодина,2000]*, стр. 93-94).

И далее, обсуждая принципы функционирования информационных систем, он продолжает: «Раз возникнув, и создав кодируемый ею оператор, любая информация обречена либо на гибель, либо на эволюцию в направлениях, удовлетворяющих сформулированным выше принципам ("*для того, чтобы какой-то оператор {или информационная система в целом} мог успешно функционировать в некоторой среде обитания, ни его потребность в ресурсах, ни скорость наработки побочных продуктов не должны достигать продуктивности кондиционирующей мощности этой среды*"). Это, по существу, *автогенез* информации, неизбежность которого строго следует из её природы. Любую информацию, как мы знаем, можно охарактеризовать количеством и семантикой. Изменчивости подвергается и то, и другое. Требование повышения $КПД_Q$ означает, по существу, минимизацию количества информации при сохранении её семантики, а необходимость адаптироваться к возрастанию размерности среды обитания, происходящему в результате деятельности операторов, выдвигает новые требования уже по отношению к её семантике. Если информация такова, что она способна изменяться в этих двух направлениях, она будет продолжать развиваться, а, следовательно, и существовать. Если же, в силу своей специфики, какая-либо информация оказывается неспособной удовлетворять этим двум условиям, она будет обречена на деградацию (уменьшение $КПД_Q$) и вымирание» (см. *[Корогодин,1991]*, стр. 89-90, а также *[Корогодин,Корогодина,2000]*, стр. 105-106).

Вот его позиция относительно иерархии целенаправленных действий: «Можно утверждать, что для нормально функционирующих информационных систем конечным итогом успешного осуществления целенаправленного действия любым из составляющих их операторов будет повышение вероятности воспроизведения кодирующей этот оператор информации. Достигается это, однако, как правило, путем множества соподчиненных целенаправленных действий, выполняемых разными операторами, так что конечная цель деятельности каждого данного оператора далеко не всегда очевидна. Кроме того, соподчиненность информации разных уровней организации также не всегда однонаправлена, и не всегда простейший анализ здесь поможет вскрыть истинную иерархию. Так, например, "поведенческие реакции" или "таксисы" одноклеточных организмов подчинены цели воспроизведения генетической информации, их кодирующей, а у социальных многоклеточных животных функция размножения подчинена цели воспроизведения информации, кодирующей их сложные поведенческие реакции. Однако независимо от уровня иерархии, занимаемого каждой данной информацией и её оператором, вышеприведенное утверждение сохраняет свою универсальность. Если из-за изменений $R$ (ресурсов) или $W$ величина $КПД_Q$ в чреде повторяющихся целенаправленных действий начнет уменьшаться, это рано или поздно, но неизбежно, приведет к изменению, исчезновению или консервации информации, кодирующей данную информационную систему. Отсюда – неизбежность оптимизации (! – С.Г.) по $R$ и $W$ деятельности жизнеспособных в данных условиях информационных систем и развития специальных, соподчиненных, информационных программ и операторов, «отслеживающих» и контролирующих эти параметры. Сказанное выше чрезвычайно важно, ибо связывает воедино судьбу информации $I$, эффективность работы кодируемого ею оператора $Q_I$, и специфику пространства режимов $S$. Связь эта реализуется через соотношения между количеством $B$ и ценностью $C$ информации, с одной стороны, её эффективностью $A$ и $КПД_Q$, с другой, а также через соотношения между характеристиками оператора, в первую очередь $R$ и $W$, и продуктивностью $\theta$, кондиционирующей мощностью $\phi$ и надежностью среды обитания, включающей в себя пространство режимов данной информационной системы» (*[Корогодин,1991]*, стр. 93-94, *[Корогодин,Корогодина,2000]*, стр. 108-109).

Обсуждая же вопрос о прогрессивном развитии информации, В.И.Корогодин пишет: «В своем информационном поле (или, что в данном контексте одно и то же, в своей экологической нише) динамика информации всегда имеет адаптивный характер, т.е. направлена на достижение максимальной эффективности, что в случае биологических объектов и означает – максимальной приспособленности к своей экологической нише» (*[Корогодин,1991]*, стр. 127, *[Корогодин,Корогодина,2000]*, стр. 143-144). И т.д.

Анализ процитированного выше материала позволяет прийти к выводу, что между концепциями В.И.Корогодина и предлагаемой в настоящей работе имеется достаточно много параллелизмов, по крайней мере, в идеологическом плане.

### *3.8.3. Концепция адаптивного компромисса А.П.Расницына*

Надо сказать, что термин «оптимизация» встречается в биологической литературе не только в связке с прилагательным «поисковая». Так, А.П.Расницын пишет: «Сложная организация живого существа представляет собой тонко сбалансированный компромисс между противоречивыми требованиями оптимизации различных структур и функций. Понятно, что млекопитающее не может одновременно бегать, как газель и плавать как дельфин – либо то, либо другое, либо немного бегать и немного плавать, как

выдра. И так по всем многочисленным адаптивным функциям. Не удивительно, что в сложной, пронизанной корреляциями и взаимодействиями системе трудно улучшить какой-нибудь параметр, не задев другие и не повредив общей жизнеспособности» *[Расницын,1986]*.

Принцип адаптивного компромисса А.П.Расницына формулируют следующим образом: «Процесс адаптации носит характер прогрессивной оптимизации целого. Он наталкивается на ограничение: оптимизация по каждому отдельному параметру осуществляется в ущерб оптимизации по любому другому параметру в меру их взаимной сопряженности (принцип корреляций Ж.де Кювье) в рамках целого. Это по существу формулировка принципа У.Р.Эшби о запрете на параллельную (одновременную) оптимизацию многих параметров целого (? – Поскольку это явно не принцип "необходимого разнообразия" У.Р.Эшби, возможно, имеется в виду его формулировка "вся система находится в состоянии равновесия тогда и только тогда, когда каждая часть находится в состоянии равновесия в условиях, определяемых другими частями" *[Ashby,1956(1959), стр.122]*, не имеющая непосредственного отношения к оптимизации? – С.Г.). Отсюда вывод А.П.Расницына: оптимизация любой реальной системы возможна лишь в порядке нахождения компромисса между противоречивыми требованиями оптимизации различных её параметров и целым» *[Иорданский,Раутиан,2002]*.

К сожалению, не очень понятно, что здесь подразумевается под *параметром*. Возможно, имеют в виду *свойство* системы, которое тем или иным способом можно изменять, а возможно – и *критерий оптимизации*, который может иметь несколько составляющих, и тогда говорят о *многокритериальной оптимизации*. Но словосочетание «оптимизация по параметру» используется лишь в технической кибернетике, и то редко, когда говорят о конкретных алгоритмах так называемого «покоординатного спуска», например, алгоритме Гаусса-Зайделя (попеременного изменения управляемых переменных). А одно дело искусственная математическая процедура, успешно работающая с реализованной на компьютере моделью некоторого объекта, и совсем иное – реально существующий биологический объект, оптимизация которого *по целевому критерию* (заданному для основного уровня биоинтеграции, т.е. объекта как целого!) *всегда* достигается посредством *одновременного и параллельного* изменения *независимых, или входных переменных* в контуре. Иногда эти независимые переменные называют и параметрами, что нельзя считать удачным, поскольку параметрами всё же лучше именовать (и чаще всего так и делают) коэффициенты в модели, которые могут меняться (в некотором темпе, существенно более медленном, чем характерные процессы в оптимизируемой системе). Очень похоже, что в трактовке принципа адаптивного компромисса под параметрами всё же подразумевают именно измеряемые (наблюдаемые) *свойства* адаптирующейся системы. Но тогда мы, к сожалению, имеем пример верного по смыслу подхода к описанию сложного процесса, пользующегося не вполне отработанным языком такого описания.

Но, даже опираясь на неточную терминологию, вывод получен А.П.Расницыным совершенно верный: в результате процесса оптимизации *целого* (т.е. с точки зрения предлагаемой концепции – целевого критерия энергетического характера некоторого организма) формы реализации адаптивного поведения составляющих его *частей* (органов и тканей), проявляющиеся в тех или иных свойствах этого *целого*, могут быть самыми различными, от максимального их проявления и до минимального. При этом вся их *совокупность* и представляет собой *компромисс*, определяемый нахождением *целого* в конкретной ситуации (т.е. его текущего внутреннего состояния, включая экстремальное значение целевого критерия, достигнутое в некоторой точке пространства независимых поисковых переменных плюс набор внешних воздействий специфического и неспецифического характера). При существенном изменении внешнего окружения организма экстремальное значение целевого критерия изменит свое положение и будет достигаться в другой точке этого пространства. И это найдет свое отражение в новом компромиссе, новом соотношении форм реализации адаптивного поведения органов и тканей, опять-таки проявляющиеся в тех или иных свойствах организма как *целого*! А упомянутые ограничения, помимо прочего, связаны с (определяются) перманентными (но существенно более медленно изменяющимися) воздействиями на организм со стороны биоценотических и биогеосферных структур, высших в иерархии живого.

Таким образом, я, *полностью* соглашаясь с мнением, что «адаптация как выражение прогрессивной специализации носит характер прогрессивной оптимизации целого» *[Раутиан,1988]*, никак не могу согласиться с его продолжением: «…пути этой оптимизации сталкиваются с ограничением: оптимизация целостной системы по каждому параметру осуществляется в ущерб оптимизации по любому другому параметру в меру их взаимной сопряженности» *[там же]*. Попеременная оптимизация по отдельным параметрам в биологии невозможна! «Оптимизаций» не может быть много, она по определению всегда одна. Хотя, если бы такое вдруг случилось, описанное явление, скорее всего, могло бы иметь место.

Дальнейшее развитие этой идеи предлагает А.В.Марков. Он пишет: «Мы предложили (…) **идею "регуляторного компромисса".** Это продолжение идей А.П.Расницына. Чем сложнее организм, тем труднее обеспечивать согласованность работы всех его частей. Это неизбежно ведет к развитию "внутренних" регуляторных связей – т.е. активность генов и функциональных белков будет регулироваться какими-то внутренними факторами, а не напрямую внешними стимулами. Прогрессирующее обращение регуляторных связей "вовнутрь" ведет к тому, что организм как бы замыкается на себя, концентрируется

на своем внутреннем состоянии, и становится более уязвимым к изменению внешних факторов. Возникает конфликт между необходимостью поддерживать целостность сложного организма и необходимостью адекватно реагировать на изменения внешних условий. Этот конфликт может быть разрешен несколькими способами, но практически все они требуют ***дальнейшего усложнения*** организма...» *[Марков А.В., 2003б]*. С подобным вниманием к роли внутренних регуляторных факторов организма невозможно не согласиться.