

4

О статье С. Н. Гринченко «Теории биологической эволюции и кибернетика: новый синтез»

А. В. Марков

Идеи, изложенные в статье, разрабатываются ее автором уже довольно давно (в статье приведены ссылки на соответствующие монографии). В целом идею о связи прогрессивной эволюции с иерархической системной организацией живого нельзя назвать новой. Большинство биологов согласны с тем очевидным фактом, что невозможно до конца понять эволюцию биосистем определенного уровня (например, многоклеточных организмов), рассматривая ее в отрыве от вышестоящих уровней системной иерархии (популяций, экосистем, биосферы), также как и от нижестоящих (органических молекул, клеток, тканей и органов). В рамках биологической науки разработано много теорий и моделей, описывающих отдельные аспекты межуровневого системного взаимодействия биообъектов. В качестве примера можно привести модели эволюции экосистем, описывающие эволюционное взаимодействие этих надорганизменных биообъектов со своими составными частями – популяциями, организмами.

Однако глобальной модели, которая охватила бы сразу все уровни системной иерархии живого и выделила бы единые общие механизмы их взаимодействия и взаимообусловленного развития, до сих пор не существует. Более того, сама возможность создания подобной модели никем не доказана и не очевидна. Существуют ли, в самом деле, какие-то общие закономерности, проявляющиеся на всех без исключения уровнях системной организации живого: молекулярном, клеточном, организменном, популяционном, экосистемном, биосферном?

С. Н. Гринченко отвечает на этот вопрос утвердительно. Он предлагает на суд биологов модель прогрессивной эволюции живого, основанную на «механизме иерархической адаптивной поисковой оптимизации (МИАПО)». Модель является результатом многолетних исследований в области теории экстремального управления, одной из наиболее сложных отраслей кибернетики.

Основной рабочий блок МИАПО Гринченко в своих монографиях называет «супраконтуром поисковой оптимизации»; он состоит из четырех

соподчиненных иерархических уровней: двух основных (верхний из которых называется «гегемоном», нижний – «индивидом») и двух промежуточных. Например, если гегемон – многоклеточный организм, то индивид – клетка; нижний промежуточный уровень соответствует тканям, верхний – органам. Индивид данного супраконтур (эвкариотическая клетка) выступает в качестве гегемона в нижележащем (вложенном) супраконтуре, в котором в качестве индивидов выступают «ультраструктурные внутриклеточные элементы» (их автономными аналогами являются прокариоты). Многоклеточный организм в свою очередь входит в качестве индивида в вышестоящий супраконтур, в котором гегемоном является биогеоценоз, и т. д.

Супраконтур работает следующим образом. Индивиды (например, клетки), а также объекты двух промежуточных уровней (ткани и органы) совершают «поисковые рыскания» (например, обратимые изменения собственной активности). Чем ниже иерархический ранг объекта, тем выше «тактовая частота» «рысканий». Каждый уровень иерархии (как основной, так и промежуточный) имеет собственную характерную скорость, или время изменений. От уровня к уровню это время меняется в $e^e = 15,15$ раз (при выборе данного числа автор воспользовался идеями А. В. Жирмунского и В. И. Кузьмина; однако для того, чтобы супраконтур «работал», такая точность не нужна: достаточно, чтобы характерное время от уровня к уровню менялось примерно в 10–20 раз).

Таким образом, постулируется, что изменения состояния тканей «в идеале» происходят в 15,15 раз медленнее, чем клеток; органов – в 15,15 раз медленнее, чем тканей; организма в целом – в 15,15 раз медленнее, чем органов. Постулируется также, что «идеальные» размеры объектов по мере возрастания их иерархического уровня растут в геометрической прогрессии с тем же коэффициентом e^e , то есть «идеальный» организм в 15,15 раз больше «идеального» органа и т. д.

«Рыскания» нижестоящих уровней влияют на поведение вышестоящих, которые реагируют на них с неизбежной инерционностью, обусловленной указанной разницей «тактовых частот». За счет этих инерционностей формируется так называемая «системная память». Поскольку гегемон реагирует на «рыскания» индивидов с более чем трехтысячекратной (e^{3e}) задержкой, получается, что он как бы «помнит» те действия индивидов, которые с их «точки зрения» имели место довольно давно. Системная память позволяет учитывать прошлый опыт для модификации стратегии адаптивного поиска. Гегемон оценивает поведение всех трех нижестоящих уровней и посылает им в ответ некие управляющие сигналы, направленные на оптимизацию совершаемых ими «рысканий». Оптимизация производится по энергетическому критерию: система стремится минимизировать отношение энергии, затрачиваемой на самоподдержание и внутреннюю регуляцию, к энергии, затрачиваемой на совершение «полезной работы» (например, рост, размножение).

Автор постулирует, что развитие системы живого представляет собой процесс «метаэволюции» – поэтапного формирования все более высоких иерархических уровней. На первом «метаэтапе метаэволюции» сформировались прокариоты, на втором – эвкариотическая клетка, на третьем – многоклеточные организмы, на четвертом – биогеоценозы, на пятом происходит формирование единой «биогеосферы». Сопоставив выделенные «метаэтапы» с длительностью крупнейших подразделений геохронологической шкалы (эонов и эр), автор делает весьма смелое допущение о соответствии схемы метаэволюции живого эмпирическим данным. Суть допущения в том, что длительность каждого метаэтапа составляла примерно 1,01 млрд лет, а моменты смены метаэтапов совпадают с эмпирически выделенными крупнейшими геохронологическими рубежами. Получилось, что прокариоты должны были появиться 3,6 млрд лет назад (что приблизительно соответствует рубежу катархея и архея), эвкариоты – 2,59 млрд лет назад (около рубежа архея и протерозоя), многоклеточные организмы – 1,58 млрд лет назад (около нижней границы рифея), биогеоценозы – 0,57 млрд лет назад (около нижней границы фанерозоя). Полноценная биогеосфера должна сформироваться только в будущем, спустя 0,44 млрд лет, а пока она существует лишь в несовершенной форме «псевдоббиогеосферы».

Вышеприведенное описание является весьма приблизительным, упрощенным и максимально «адаптированным» для восприятия биологами. В трудах С. Н. Гринченко все это изложено гораздо сложнее и формальнее. Как биолог, я не могу оценить работоспособность иерархической системы «супраконтуров» с точки зрения кибернетики; в этом отношении следует положиться на компетентность и авторитет автора, которые не вызывают сомнений. Задача биологов – понять, насколько данная схема приложима к реальным биологическим объектам.

Конечно, многие мысли автора-математика покажутся биологам странными, а некоторые – просто нелепыми. Таковыми представляются, в частности, радикальные изменения, вводимые С. Н. Гринченко в биологическую терминологию. Например, автор настаивает на том, что термин «организм» должен применяться исключительно к многоклеточным эвкариотам; термин «клетка» – только к эвкариотическим клеткам (прокариотические клетки он предлагает именовать «ячейками»); «биогеоценоз» – только к системам определенного размера (порядка километров), основу которых составляет сообщество многоклеточных эвкариот, и т. д. Едва ли биологи когда-нибудь согласятся принять эти и многие другие предложения С. Н. Гринченко.

Чувство резкого неприятия вызывает стремление автора загнать многообразие биообъектов в прокрустово ложе «идеальной» размерной иерархии (идеальный прокариот – 350 нанометров, эвкариотическая клетка – 1,2 мм, организм – 4,2 м, биогеоценоз – 15 км и т. д.).

К сожалению, в публикациях С. Н. Гринченко очень трудно отыскать внятный ответ на самый, с моей точки зрения, главный вопрос: чему в реальной жизни могут соответствовать ключевые переменные и связи предлагаемой автором модели? Ниже приводится интервью с автором, взятое мной в 2005 г. в связи с выходом его книги «Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры)». Из этой беседы, как мне кажется, хорошо видно, как трудно наладить конструктивный диалог между «биологами от биологии» и «биологами от математики». Задавая свои вопросы, я раз за разом (и, кажется, тщетно) пытался перевести разговор от абстрактных математических или кибернетических понятий к конкретным биологическим реалиям. Впрочем, с точки зрения математика, вероятно, все наоборот: математические выкладки кажутся конкретными и живыми, а биологические факты – некой туманной абстракцией, гораздо менее существенной, чем красота формул или кибернетических моделей. Подобные проблемы часто возникают при попытках объяснить ключевые проблемы теоретической биологии с точки зрения математики или физики, не вникая при этом в биологические «тонкости».

Теоретическое введение, написанное С. Н. Гринченко к публикуемой статье, также оставляет чувство неудовлетворенности. Биологи-теоретики, на которых ссылается автор, практически все являются представителями маргинальных, не признанных международным научным сообществом направлений эволюционизма. Их труды, мягко говоря, отнюдь не являются «последним словом» эволюционной биологии. Что бы ни говорилось о многообразии эволюционных теорий в биологии, на самом деле, с моей точки зрения, основных подходов только два. Первый – разделяемый абсолютным большинством биологов – основан на дарвиновской «триаде» (изменчивость, наследственность, отбор), обогащенной множеством ценнейших дополнений и «надстроек» – от достижений генетики и молекулярной биологии до теорий нейтрализма, пунктуализма, моделей эволюции экосистем и т. д. Это материалистический и «экономный» (парсимоничный) подход, избегающий введения в науку «лишних сущностей» – каких-то особых сил,двигающих эволюцию. Второй подход основан как раз на постулировании таких сущностей. Они могут быть названы самыми разными терминами («принцип градации», «энтелсхия», «активность», «Бог-творец», «разумный замысел», «радиальная энергия» и т. д.). Моя точка зрения, разделяемая (не побоюсь сделать столь смелое заявление) большинством компетентных биологов-теоретиков во всем мире, состоит в том, что эти сущности действительно «лишние», и повторяющиеся попытки их введения в биологическую науку объясняются чаще всего недостаточно глубоким пониманием той эволюционной модели, которую по традиции принято называть «дарвиновской» (хотя она со времен Дарвина успела очень сильно видоизмениться и обогатиться множеством новых фактов и идей). Лично мне очень жаль, что С. Н. Гринченко симпатизи-

зирует сторонникам «энтелехий» и явно недооценивает роль «дарвиновской триады».

При всем при том базовые идеи С. Н. Гринченко и выбранный им подход, вполне возможно, являются перспективными. Следует отдать должное автору, предпринявшему весьма серьезную попытку интеграции двух столь далеких (и столь нужных друг другу!) областей науки, как теоретическая биология и кибернетика.

В заключение хочется выразить надежду, что «оптимизационным критерием» дальнейшего развития идей С. Н. Гринченко будет критерий максимального соответствия биологическим фактам. Для этой работы, безусловно, потребуются конструктивное сотрудничество с профессиональными биологами. Модели, разработанные в рамках теории поисковой оптимизации, могут оказаться весьма полезными для биологии, если только их удастся качественно «привязать» к биологическим реалиям.

Интервью с С. Н. Гринченко

А. М.: Сергей Николаевич, по-моему, для того, чтобы Ваша концепция могла быть понята и принята биологами, необходимо очень конкретно, на примерах, объяснить, чему в реальной жизни могут соответствовать связи и переменные Вашей модели.

С. Г.: Давайте попробуем.

А. М.: Взять, например, самый наглядный супраконтур – многоклеточный организм (к примеру, мышь *Mus musculus*): органы – ткани – клетки. Нужно объяснить, чему в этой системе могут соответствовать значения переменных и каждая стрелочка Вашей схемы.

С. Г.: Вынужден отметить, что этот пример не вполне удачен, так как вместо типового варианта (полноразмерного организма) сразу рассматриваем некоторый частный (малоразмерный). Методологически удобнее начинать здесь прямо с человека как биообъекта либо лошади, свиньи или овчарки. А уж затем переходить к интерпретации более частных – с позиций идеальной иерархической схемы супрасистемы живого – мало- и среднеразмерных вариантов.

А. М.: В чем конкретно заключается поисковое поведение (рыскания) клеток, тканей и органов?

С. Г.: Рыскание (тремор, флуктуации, дрожания) заключается в небольших вариациях (колебаниях, модификациях, изменениях) уровня их специфической активности, что оказывает непосредственное влияние на их приспособительное поведение в рамках соответствующего биогеоценоза. Конкретно: печень работает – выполняет свои функциональные обязанности в рамках организма (скажем, очищает кровь от загрязнений) – чуть более или чуть менее интенсивно (причем эти вариации происходят – в среднем – с частотой, на порядок большей частоты специ-

фической активности самого организма). То же и ткань, и отдельная клетка (но с большей и большей частотой соответственно).

А. М.: Как конкретно гегемон (мышь или человек) задает целевые критерии своим подсистемам?

С. Г.: Это самый тонкий момент! В самом общем виде ответ может звучать так: «Таков закон природы», но ведь это малоинформативно и звучит неубедительно? А возможен другой ответ (правда, это прямой путь в ряды лжеученых, поскольку определяет неизвестный «икс» через неизвестный «игрек»): «Передача этого сигнала осуществляется посредством соответствующего биологического поля». Даже если попытаться предварительно строго определить, что такое это «биополе», – и это не наш путь. Вот почему я предпочел сформулировать наличие этого явления в виде постулата, в рамках которого конкретизировать, «как конкретно гегемон задает целевые критерии своим подсистемам», не нужно по определению. Но весьма важно, что этот постулат весьма близок к своему аналогу, который широко используется в механике, а именно – к ее вариационным принципам. Вот как характеризует один из них БСЭ: «Наименьшего действия принцип, один из вариационных принципов механики, согласно которому для данного класса сравниваемых друг с другом движений механической системы действительным является тот, для которого физическая величина, называемая действием (действие – физическая величина, имеющая размерность произведения энергии на время), имеет минимум (точнее, экстремум)». <...> Я понимаю, что для биолога и этот текст выглядит абракадаброй – но это одна из базисных основ механики и рассчитанная на широкий круг читателей энциклопедическая статья. Для полного понимания нужно, чтобы читатель знал, что такое консервативные, неконсервативные и голономные системы. А видели бы Вы учебник по теоретической механике, не говоря уж о монографиях и статьях в специальных журналах... Конечно, механика развивается несколько столетий и уже сформировала своего читателя – потребителя идей, и породила огромное число пользователей практических результатов ее расчетов. Ситуация же с теоретической биологией Вам известна.

А. М.: Как и чем гегемон оценивает поисковую деятельность своих органов, как он вычисляет и доводит до сведения своих органов ограничения «типа неравенств»? Приведите, пожалуйста, пример такого ограничения.

С. Г.: Пусть это будет предельно высокая частота пульса (для человека, скажем, порядка 200 или 250 ударов в минуту), выше которой наступает разрыв сердца (то есть органа) с последующей смертью организма. И одновременно его предельно низкая – быть может, 10 или 15 ударов в минуту, ниже которой в нормальных условиях (то есть не при глубоком охлаждении организма) наступает срыв ее до нуля и также смерть.

А. М.: Почему эти ограничения – обязательно «типа неравенств»?

С. Г.: Это формальное требование теории адаптивных систем: наличие в них в общем случае целевых критериев трех типов: экстремального, типа равенств и типа неравенств.

А. М.: Каким же образом организм (человек или мышка) это ограничение формирует (вычисляет), почему органы оказываются вынуждены ему следовать, и почему это ограничение носит именно оптимизационный характер (то есть способствует оптимизации)?

С. Г.: На эти вопросы я только что ответил: оно является неотъемлемой частью совокупности критериев оптимизации адаптивной системы.

А. М.: Каков материальный носитель данного сигнала? Как, посредством каких материальных объектов организм передает данное ограничивающее условие своим органам?

С. Г.: Он проявляется при нарастании активности человека (например, при его перемещении в пространстве «шаг спурт и т. д.»), а его предельное значение «закодировано» в свойствах материала сердечных мышц (прочности на разрыв, пластичности, изгибаемости и т. п.), наличии у них индивидуальных особенностей (например, шрамов от ранее перенесенных разрывов), интенсивности процессов их питания и восстановления и др., а также в ограниченном объеме и фиксированном (в каждый момент времени) составе крови в организме при наличии суммарных «претензий» всех его органов на обеспечение их текущей деятельности кровотоком достаточной интенсивности (при должном качестве крови).

А. М.: То же самое – для критериев «типа равенств», задаваемых организмом своим тканям.

С. Г.: Пример: пусть это будет средняя температура тела (для человека порядка 36,6 °С, для мышкы – на несколько градусов выше), отклонения от которой крайне незначительны.

А. М.: То же самое – для условий «экстремального типа», задаваемых организмом своим клеткам.

С. Г.: Это самое интересное, так как это именно тот критерий энергетического характера, который и играет главную роль в оптимизации приспособительного поведения живого. Но это и самое трудное для изучения, так как экспериментально измерять энергетические потоки в живом чрезвычайно трудно (см. об этом работы Н. С. Печуркина и др.). А отсюда необходимость косвенных оценок, ну и, конечно, теоретических. Не с этим ли связана и столь долгая жизнь эволюционного критерия «приспособляемости»? С моей точки зрения, он неверен (см. книгу) и, казалось бы, давно должен был быть отброшен, но по большому счету эта самая «приспособляемость» (как бы она ни определялась) сильно коррелирует с «энергетической комфортностью», к которой перма-

нентно стремится система живого. Ведь довольно естественно предположить, что энергетически оптимальный представитель системы живого хорошо «приспособлен». А также, что хорошо «приспособленный» – энергетически оптимален. И поэтому рассуждения об эволюционном процессе в терминах «приспособляемости» часто выглядят верными (когда неявно подразумевается стремление и достижение «энергетической комфортности»), и лишь иногда – нет (когда в действительности подобно не имеет места). А продемонстрировать «приспособляемость» («выжил – значит, приспособлен») много легче «энергетической комфортности» (о трудности измерений см. выше). Итак, этот «капкан» не столь прост, как кажется многим его критикам.

Теперь о его виде. В подразделе 5.3 (с. 160) я об этом пишу подробно. А «на пальцах»: организм (а также прокариот, клетка, биогеоценоз и др.) имеет относительно долговременную тенденцию (природа так устроена, реализуется ее закон!) максимизировать свои энергетические затраты на обеспечение действий, направленных вовне, и минимизировать – направленных внутрь себя, то есть на личные нужды обеспечения метаболизма и регуляторные. При том что на относительно коротких интервалах времени, то есть при возникновении любых внешних воздействий на нее, система реагирует противоположно: переключает (полностью или частично) всю энергию на саморегуляцию с целью преодоления неблагоприятных для себя последствий этого внешнего воздействия. Поэтому важно отметить, что указанные выше тенденции проявляются в среднем, причем на отрезках времени, характерных именно для конкретных подсистем живого. Но чтобы набрать необходимое число фактов, которые свидетельствуют о справедливости этого утверждения только лишь для нейрона и универсальной живой клетки, нам с соавтором (нейрофизиологом и цитологом) потребовалось в свое время около 10 лет...

А. М.: Как работает механизм системной памяти? Что именно (и как, каким местом) может помнить, допустим, почка, и какую именно информацию (сигнал, влияние, воздействие...) она передает своим тканям, и как именно она им это передает, и каким образом этот сигнал идет на пользу выполнению общей задачи оптимизации?

С. Г.: Извольте. Это влияние, которое иногда называют модификацией, а иногда – просто изменением структуры органа, что достигается в первую очередь варьированием тканей, его составляющих, а во вторую – клеток, составляющих эти ткани. Именно сравнительно медленное структурное изменение как результат и следствие сравнительно более быстрого процесса изменения соответствующего целевого критерия (в данном случае критерия типа неравенств) в ходе оптимизации энергетики организма и реализует системную память (в данном случае уровня органа). На с. 60 я привожу очень мне нравящееся высказывание

А. М. Молчанова (1967) на эту тему: «Нынешняя структура есть следствие вчерашней кинетики».

Очевидно, что текущая структура органа-почки (перманентно варьирующая вблизи его «идеальной» структуры!) оказывает самое непосредственное влияние на организацию его поведения (конкретно – более или менее интенсивной и более или менее избирательной осморегуляции). Но с ходом времени эта структура совершит новую (небольшую) вариацию, и уже ее новая версия будет влиять на дальнейшее поведение этого органа в рамках системы живого. И так далее. В старости структура может снизить свою эффективность вплоть до ее полной потери, что будет причиной смерти данного организма. То же справедливо и для всех других органов. Отношение характерного времени этого процесса к характерным временам соответствующих процессов на низших уровнях в иерархии все увеличивается: соотношение орган/ткань составляет $e \approx 15$ раз, а соотношение орган/клетка составляет $e^{2e} \approx 230$ раз (понятно, в «идеале»). То есть для клеток, составляющих орган-почку, та же самая системная память, реализующаяся в ее структуре, является как бы более продленной. Грубо говоря, 1 такт этой системной памяти действует в течение 15 тактов поведения тканей почки и в течение 230 тактов поведения клеток почки.

А. М.: Допустим, супраконтур работает, и наш организм действительно удачно оптимизировал свои органы, ткани и клетки. Какой в этом смысл, если результаты данной оптимизации не передадутся потомству? Какой механизм наследования результатов оптимизации, кроме генетического, Вы можете предложить? Вы предполагаете прямое наследование приобретенных признаков?

С. Г.: Давайте сначала уточним, что такое «приобретенные признаки». В какой момент развития организма они приобретены? В течение какого периода времени приобретались? И самое главное – к какому уровню в иерархии относятся? Согласно предлагаемой концепции, для каждого яруса в иерархии живого имеет место свой темп этого процесса, который я как раз и называю системной памятью. И тогда «признаки» – это структурные модификации (вариации «закрепления состава») представителей соответствующего яруса. Они могут быть и тканевыми, и клеточными, и компартментальными, и субкомпаратментальными, и элементарными, и макромолекулярными, и уровня органических молекул. К какому из этих ярусов лучше всего отнести уровни генома в целом и отдельных генов – как Вы, возможно, обратили внимание, – я так и не решил. Вроде бы аналог гена – сложная органическая молекула, а генома – макромолекулярная структура. Далее: существовать в неизменном виде они могут тем дольше, чем выше в иерархии их носитель (системная память того или иного яруса). А затем они продолжают существовать уже в несколько измененном виде. Через характерный период вре-

мени – новая форма существования, и т. д. С другой стороны, давайте признаем еще раз, что ни одна модель не может отражать все стороны моделируемого объекта, и тем более одновременно. Именно поэтому феномен размножения биообъектов в рамках системы живого – в явном виде – ни на основной схеме МИАПО, ни в математических соотношениях не фигурирует. Но это не значит, что он вообще не отражен в рамках предлагаемой концепции. В пункте 2.6.2 (с. 40) показан «идеальный» ход процесса онтогенеза, который по своим пространственно-временным характеристикам полностью соответствует схеме МИАПО. И предлагается интерпретировать онтогенез как процесс наращивания ярусов в иерархии живого, с временами – в отличие от тысячелетий и миллионолетий филогенеза, – точно (вернее, в «идеале») соответствующими адаптивному поведению живого (секунды – минуты – сутки – годы и т. д.).

А. М.: Как наследуются удачные результаты оптимизации в тех супраконтурках, где гегемон не обладает собственным генотипом (как биогеоценоз, например)?

С. Г.: А вот с этим я не соглашусь! Нельзя говорить о наследовании отдельно взятого супраконтурка! Наследование происходит во всей иерархической системе живого. И, если угодно, «генотип биогеоценоза» – это сумма генотипов всех многоклеточных организмов, одноклеточных эвкариот и прокариот, его составляющих. И тот факт, что организмы отмирают, рождая перед этим своих потомков, не слишком выделяет их из этой иерархии. Ведь и многие внутриорганизменные клетки отмирают, не приводя к смерти организма. Также и внутрибиогеоценозические организмы отмирают, не приводя к смерти биогеоценоза.

Аннотация

Разработанная С. Н. Гринченко модель прогрессивной эволюции живого, основанная на «механизме иерархической адаптивной поисковой оптимизации (МИАПО)» представляет собой интересную попытку применения кибернетических принципов к анализу общих закономерностей прогрессивной эволюции. Базовые идеи С. Н. Гринченко и выбранный им подход, возможно, являются перспективными. Следует отдать должное автору, предпринявшему весьма серьезную попытку интеграции двух столь далеких (и столь нужных друг другу) областей науки, как теоретическая биология и кибернетика. Однако многие ключевые положения предлагаемой автором концепции либо явно не соответствуют биологическим реалиям (например, представление об универсальности выделенных иерархических уровней организации живого, об «идеальных» размерах объектов разных уровней и др.), либо их связь с конкретными биологическими объектами и явлениями представляется спорной и неоднозначной.