

С.Н.ГРИНЧЕНКО. Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры). М.: ИПИ РАН, Мир, 2004, 512 с.

См. также <http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/> .

XX век подарил человечеству новый вид научного исследования – математическое моделирование. Широко известно, что существуют два пути создания научного продукта – теоретический и экспериментальный. Но развитие науки и техники привело к появлению математического моделирования – третьего пути, находящегося посередине между этими двумя ветвями. В биологии появился промежуточный тип анализа – изучение систем *in silico*, активно развивающийся наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями. Этим термином обозначаются вычислительные эксперименты и численное моделирование, выполняемое компьютерами, т.е. вычисления “в кремнии”. По существу моделирование *in silico* соответствует теоретическому способу научных исследований, а по форме – экспериментальному.

Еще в 1975 г. было замечено, что “теперь любая теоретическая... мысль, как правило, оформляется в виде математической модели. Это не случайно – повысились требования к точности и четкости высказываемых соображений”¹. Математические модели как раз и представляют собой тот язык, на котором в современном мире описываются и природные явления, и системы, создаваемые человеком. Дж. Уильямс, один из основоположников современного эволюционизма, высказался по этому поводу так: “интуитивные идеи... не всегда могут быть адекватными. Для получения логических ответов, которые можно проверить путем исследования реальных организмов, необходимы серьезные теоретические построения, часто математические”².

В Советском Союзе существовала наука бионика³, которая, как известно, занималась заимствованием идей из живой природы и их перенесением на техническую почву. Идеи бионики часто записывались на языке математических моделей, что делало их общедоступными и широко применимыми в различных областях человеческой деятельности. В этой связи интересно отметить, что автор рецензируемой монографии Сергей Николаевич Гринченко стал, по всей видимости, последним советским ученым в области бионики. Действительно, защищенная им в декабре 1989 г. докторская диссертация проходила в ВАК именно по этой специальности (а также по второй – “Управление в биологических и медицинских системах”). А с января 1990 г. “Бионика” была исключена из перечня специальностей ВАК.

Существовало в Советском Союзе и “встречное” движение – заимствование из техники идей, алгоритмов и схем, которые последовательно применялись для модельного представления биологических знаний и концепций. Эта встречная струя идей называлась “биологической кибернетикой”. Оба направления исследований, казалось бы, благополучно канули в вечность, если бы не одно обстоятельство. На Западе оба эти направления, объединившись под общим названием “biomimetics” (биомиметика) и включив в себя то, что называлось “искусственным интеллектом”, вышли на передовые позиции в науке и технике. В настоящее время они питают такие различные области человеческой деятельности, как робототехника, нанотехнология, искусственные внутренние органы и медицинские системы вообще, новые области в биотехнологии, производство “умных” материалов, различные системы антитеррористической направленности и т.д.

Однако в развитии биомиметических исследований на Западе отсутствует то, что называется “системным подходом”. В Европе, которая в последние годы становится лидером в теоретическом осмыслении багажа биомиметики, не образовалось центра, координирующего и связывающего воедино различные направления исследований. В США и на Востоке, где наметились удивительные перспективы практических применений биомиметики в робототехнике и нанотехнологии,

¹ Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М., Наука, 1975.

² Nesse R.M., Williams G.C. Evolution by natural selection // Evolution and healing / Nesse R.M., Williams G.C., Eds. London: Weidenfeld and Nicolson, 1995. P. 13-25.

³ По данным Г.В.Абраменко, в российских вузах и сегодня существует около 70 кафедр, на которых студенты изучают бионику.

практически отсутствуют базовые теоретические работы по биомиметике. Фактически на Западе монографии обобщающего характера отсутствуют.

Тем удивительнее видеть, что в нашей стране эти интереснейшие области знания продолжают развиваться. Монография С.Н.Гринченко “Системная память живого”, в которой дается далеко идущее обобщение и модельное представление собственных (и отечественных вообще) достижений в области, с одной стороны, теоретической биологии, а с другой – бионики, биокибернетики и информатики, яркое тому свидетельство.

Автор ее справедливо полагает, что трудности изложения сугубо междисциплинарной проблемы, каковой является анализ целесообразного в самом широком смысле поведения живых систем (“системной памяти живого”) делают невозможным классический способ подачи материала. Действительно, схема построения монографии по принципу “постановка проблемы – обзор литературы – методика решения – практическая реализация методики – обсуждение результатов” в данном случае неприемлема по целому ряду причин.

Начать с того, что проблемы исследования в четком виде автор нигде не ставит, и общей концепции как таковой нигде не предлагает. В предисловии автор говорит о “поисковой оптимизационной концепции”, но читателю предлагается лишь “несколько примеров фрагментов концепции” – использования случайного поиска как адекватного аппарата моделирования клеточных структур, собственно клетки и механизма хемотаксиса. Содержание предлагаемой концепции “иерархической поисковой оптимизации” системы природы и в самом деле достаточно сложно, как об этом говорит автор в разделе 1.5, а ее изложение представляет собой непростую задачу. Эту задачу он постарался решить в разделе “Математическая схема концепции”. С.Н.Гринченко пишет: “В настоящем разделе работы концепция рассмотрения приспособительного поведения системы живой природы в терминах процессов иерархической поисковой оптимизации определена формально”. Однако в законченном виде я так и не нашел определения этой концепции. Значит, читателю самому предстоит сформировать свое мнение о целях исследования, предлагаемой концепции, результатах ее приложения к системе живого и их философском значении.

Соответственно и литература, подлежащая обзору, становится безграничной как по охвату материала, так и по проблематике. Действительно, как говорит автор на с. 13, можно легко “завязнуть” уже на этапе “обзор литературы”. Поэтому и критический анализ литературы автор рассеивает по всей монографии, делая это в соответствии с обсуждаемыми именно сейчас проблемами.

Правда, дальнейшее следование традиционному плану вполне допустимо. Методика решения проблемы целесообразного поведения, хотя и не поставленной в явном виде, ясна и очевидна – поисковая оптимизация с 1970-х годов активно развивалась и в настоящее время широко применяется во многих отраслях науки и техники.

Заключительный раздел гипотетического плана монографии – обсуждение результатов – также мог бы отлично быть представлен в традиционном виде. Раздел “Некоторые следствия предлагаемой концепции” как раз и содержит большой материал методологического и философского плана.

Что же является предметом рассмотрения в рецензируемой монографии?

Таким предметом является анализ живой природы в целом, рассмотрение хода и механизмов ее развития и усложнения – метаэволюция (процесс наращивания числа иерархических уровней в системе) живого. Идея монографии по сути своей проста. Все жизненные процессы на Земле подчиняются единым законам, а их эволюция определяется механизмами иерархической поисковой оптимизации. Экспериментально наблюдаемая высокая эффективность функционирования живых систем объясняется наличием системной памяти, причем запоминание информации происходит на всех уровнях организации живой материи, а именно, в ее структуре. Так сформулированная, концепция иерархической поисковой оптимизации, тем не менее, требует своего обоснования на разных уровнях понимания, что приводит к необходимости выдвижения различных гипотез.

Одна из них состоит в следующем. Если кибернетика и теория управления при анализе биологических систем основное внимание уделяла отрицательным обратным связям как средству поддержания их целостности и гомеостаза, лишь в отдельных случаях дополняя ее положитель-

ными обратными связями, то в системах поисковой оптимизации эти два типа связей фактически равноправны. В соответствии с авторской гипотезой, в процессе существования биологическая система постоянно переходит с одного типа обратных связей на другой. Отрицательная обратная связь стабилизирует найденные соотношения, а когда они перестают соответствовать окружающим условиям, на какое-то время включается положительная обратная связь, раскачивающая систему и уводящая ее из этого состояния.

По этой гипотезе, каждая биологическая система обладает сложной структурой. В терминах теории управления (и биокибернетики как частного ее случая) она включает в себя, как минимум, собственно объект регулирования, блок-вычислитель целевой функции, и оптимизатор. В простейшем случае блок вычисления целевой функции генерирует двоичный сигнал – “комфорт-дискомфорт”. При сохранении комфорта система продолжает работать в прежнем режиме, а в случае дискомфорта отрицательные обратные связи заменяются положительными, и система пускается в свободное плавание вплоть до следующего появления сигнала “комфорт”.

Эта гипотеза об организации живой материи оказалась плодотворной при моделировании нейрона, живой клетки и хемотаксиса бактерий (при этом автор ссылается на свои старые работы, с которыми читателю предстоит ознакомиться самостоятельно). Дальнейшее развитие гипотезы состоит в том, что оптимизация процессов в живой природе идет на всех уровнях одновременно. Например, в организме – это уровни “клетки–ткани–органы–организм”, что в обобщенном виде выглядит как “индивиды–трибы–касты–гегемон”.

Такой способ рассмотрения повторяется затем при анализе метаэволюции природы как таковой. Начиная с уровня прото-клеток, движение идет к уровню прото-организмов, затем к прото-биогеоценозам, затем к планетным сферам, звездным скоплениям и, наконец, к Метагалактике в целом. Автор тщательно прослеживает фазы (он называет их метафазами) биологической метаэволюции, начиная с первой, на которой реализуются взаимодействия атомов и образуются простейшие протоорганические молекулы. На второй метафазе образуются биополимеры (кваситрибы). Квазигегемон на этой метафазе оценивает индивидуальное поведение “сфер атомов” и коллективное поведение “кваситриб”. Далее процесс продолжается на третьей, четвертой и т.д. метафазах, вплоть до тринадцатой, где в качестве целезадающего уровня выступает уже целостная “псевдобιοгеосфера”.

Для детального рассмотрения процессов и механизмов, действующих на различных метафазах, автор вынужден пользоваться сложной системой понятий – на первых трех метафазах (α_1 , α_2 , α_3) это “псевдоэлементон”, “квазиэлементон” и “эвриэлементон”, на вторых (β_1 , β_2 , β_3) – “псевдо-клетка”, “квазиклетка” и “эвриклетка”. На третьих (γ_1 , γ_2 , γ_3) метафазах используется понятие псевдо-, квази- и эвриорганизма, на четвертых (δ_1 , δ_2 , δ_3) – псевдо-, квази- и эврибиогеоценоза. На последней (тринадцатой) стадии ε_1 используется термин псевдобιοгеосфера. Набор прочих используемых автором терминов достаточно сложен и разнообразен, для того чтобы останавливаться на нем в настоящих заметках. Скажем только, что этот подход позволил автору описать последнюю часть Универсальной Истории Вселенной.

Результаты, полученные на этапе рассмотрения механизмов формирования псевдобιοгеосферы, позволили автору сформулировать и биологические следствия предложенной концепции. Существует ли предел метаэволюции живого? Каково время жизни биогеоценозов и биогеосферы в целом? Как происходит старение (в смысле “забывания системной памяти”)? Как наступает смерть?

Часть следствий носит методологический и философский характер. Как соотносятся в живой природе прогресс и регресс? Почему поведение систем “достаточно высокой сложности” может быть антиинтуитивным? Автор анализирует принцип актуализма, дает оригинальную интерпретацию понятия времени, рассуждает о сущности жизни. Наконец, он делает попытку создания “периодической таблицы” живого – этапов формирования структур, метафаз метаэволюции и форм организации супрасистемы живого.

Говоря о том, как можно проверить справедливость изложенной концепции, автор справедливо замечает, что возможности ее реализации *in silico* сегодня сильно ограничены. Эффективное исследование феномена “системной памяти” возможно “лишь при использовании средств вычис-

лительной техники, адекватных особенностям рассматриваемой задачи. То есть создаваемых сегодня параллельных компьютеров – но, быть может, дополненных новыми специфическими свойствами” (с. 170).

Таково содержание этой интересной монографии. Прочсть такую книгу нелегко, понять – тоже непросто. Используя сложную многоярусную систему обозначений и снабженная большим количеством сложных рисунков, демонстрирующих взаимодействие всевозможных структурных композиций в рамках различных сложноорганизованных систем (например, “в рамках супраконтура КВАЗИОРГАНИЗМЫ-КЛЕТКИ-2”), она, к сожалению, скорее отпугивает читателя, чем привлекает его.

Очевидно, книга и не предназначалась широкому кругу читателей. Вряд ли сложная модель концепции будет воспринята биологами, эволюционистами, астрофизиками. В биологии вообще существует известный скептицизм в отношении математических моделей. “Математики <...> могут плести обширные сети математических теорий, которые кажутся полностью лишёнными эмпирического значения”, – пишет Майкл Роуз, специалист в области старения и эволюционной биологии⁴. Если судить по авторским намерениям, монография ориентировалась на “специалистов-естествоиспытателей, использующих системную методологию”, а также студентов, аспирантов и докторантов, специализирующихся в области наук о жизни, информатики, кибернетики и теории систем. Также достаточно широкий круг специалистов, как начинающих, так и вполне сложившихся.

Конечно, читая такую сложную и многоплановую книгу, иногда ловишь себя на том, что начинаешь критически относиться к написанному. Например, говоря об оптимальности, автор вроде бы полагает, что конкурирующих концепций не существует вообще. Он считает, в частности, что один из основателей современной биофизики Н. Рашевский разделял принцип оптимальности (с. 160), хотя Рашевский придерживался этой концепции только на определенном этапе своего миропонимания. На самом деле Рашевский выдвинул “принцип максимальной простоты” еще в 1943 г., а затем переформулировал его как “принцип оптимальной конструкции организмов”. Тем не менее, в конце жизни он исповедовал уже другой принцип, более общий: “принцип адекватной конструкции организмов”. “Конструкция должна быть адекватна заданной функции при заданных изменяющихся условиях среды”, – говорил он⁵. Критика проблемы оптимальности, в частности, была довольно давно рассмотрена и нами⁶.

Оптимальны ли каждый организм? Разумеется, нет. Хорошо известен факт наличия огромной гетерогенности в биологических популяциях, когда оптимальным (в данных условиях среды) является не отдельный организм, а генотип популяции. При данном генотипе все организмы имеют большой разброс индивидуальных параметров (фенотипически разнообразных), что позволяет популяции иметь “резервы” из неоптимальных организмов. Именно эти резервы дают материал для эволюции, включаясь при резких флуктуациях окружающих условий и, тем самым, позволяя популяции выжить⁷.

В качестве единственного критерия, минимизация которого на различных уровнях организации жизни и дает толчок метаэволюции живого, автор рассматривает энергетические расходы (точнее, различные энергетические показатели). Разумеется, автор понимает, что этот подход противоречит общепринятым популяционным критериям оптимальности. Например, концепция Фишера утверждает, что выживают гены наиболее приспособленных организмов, т.е. такие, которые способствуют появлению в следующем поколении максимально возможного числа потомков.

Что касается хемотаксиса, то, действительно, движение различных микроорганизмов в жидкой среде состоит из прямолинейных участков, перемежающихся фазами “кувыркания”, в резуль-

⁴ *Rose, M.R.* Evolutionary biology of aging. Oxford: Oxford Univ. Press, 1991.

⁵ *Рашевский Н.* Модели и математические принципы в биологии // Теоретическая и математическая биология. М., Мир, 1968. С. 54

⁶ *Новосельцев В.Н.* Теория управления и биосистемы. Анализ сохранительных свойств. М., 1978.

⁷ *Новосельцев В.Н., Аркин Р., Новосельцева Ж.А., Яшин А.И.* Междисциплинарное моделирование системных механизмов управления репродукцией и старением // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 27-40.

тате чего организмы скапливаются в местах с максимальной концентрацией пищи. Однако обычным критерием и здесь является не минимизация энергетических затрат на перемещение в пространстве, а скорее нахождение условий для эффективного питания. Тем не менее, авторская концепция в обоих случаях, по-видимому, допустима, поскольку «системная память живого» реализуется в явном виде – в популяциях генотипы сохраняют полезные признаки, накопленные организмами в предыдущей истории, а в хемотаксисе «бактерии "помнят" предшествующие значения концентрации определенных веществ»⁸.

Любопытны страницы, посвященные старению и умиранию живых организмов (с. 442-444). Автор выдвигает положение о том, что «факт умирания конкретного биообъекта, т.е. устранения его из системы живого», представляет собой важнейшее проявление системного механизма поисковой оптимизации. Профессионально занимаясь проблемами старения и умирания живых организмов, такую точку зрения я встретил впервые: трактовка смерти организма как системного «забывания» мне не попадалась ни в биологических публикациях⁹, ни в трудах специалистов по управлению. Это же относится к гипотетическим временам жизни организмов «в диапазоне ~ 144 до ~ 845 лет», которые должны возникнуть в будущем через «весьма продолжительное время, порядка 374 млн. лет». Возможно, конечно, но кто и как сможет судить о правильности этого прогноза?

К числу мелких, но досадных ошибок я отнес бы приписанное автором монографии (правда, со ссылкой на публикацию¹⁰) украинскому кибернетику А.Г.Ивахненко высказывание о том, что «лучшей моделью кошки будет другая кошка» (с. 153), принадлежащее отцу кибернетики Норберту Винеру.

Но прочитавший монографию читатель охотно простит автору эти недочеты – горизонты поставленной проблемы, широта подхода, кибернетическое и философское осмысление концепции стоит того. Математическое моделирование процессов метаэволюции (даже не доведенное до компьютерных вычислений) – по-настоящему сложная и важная проблема. Сегодня компьютерное моделирование проводится исключительно для достижения одной из двух целей: либо для понимания (и прогнозирования) поведения различных объектов, либо для оптимизации их функционирования. Монография С.Н.Гринченко ставит своей целью понять процессы метаэволюции как поле, на котором разворачиваются механизмы иерархической поисковой оптимизации. В этой связи надо сказать, что, несмотря на отмеченные выше недостатки, книга «Системная память живого» своей глобальной цели вполне достигает, а авторский подход вполне адекватен поставленной задаче.

Монография «Системная память живого» – широкое полотно, на котором подробно и тщательно выписаны основные процессы метаэволюции живого. Она позволяет по-новому взглянуть на процессы развития природы на всех уровнях организации биосистем и дает обширный и разнообразный материал для размышлений и понимания. Эта интересная и многослойная монография вызывает уважение уже самой постановкой проблемы иерархической оптимизации, рассматриваемой как движущая сила развития природы на всех уровнях ее организации. Желание и способность автора понять и тщательно описать общие механизмы, управляющие развитием живой природы, в развернутой форме представить детали этих процессов позволяют высоко оценить эту книгу.

В.Н.Новосельцев

⁸ Завальский Л.Ю. Хемотаксис бактерий // Соросовский образовательный журнал. 2001. № 9. С. 25.

⁹ Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. Санкт-Петербург, 2003.

¹⁰ Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С. Экология в цитатах и афоризмах. Тольятти, 2001.