

**ПРОБЛЕМА: ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗДУМЬЯ**

**В. Налимов,**  
доктор технических наук

## Теоретическая биология? Ее все еще нет...

*Биология изучает живую природу, но приходится раздумывать ее на части, чтобы, подробно изучив каждую из них, получить представление о целом. Но всегда ли это возможно?*

### 1.

У различных видов интеллектуальной деятельности немало общих черт, но в научной работе есть нечто, что может считаться ее исключительной прерогативой. Это «нечто» – компактность представлений.

Современная европейская наука – прежде всего абстрактно-символическая, то есть компактная запись наших знаний о мире. Коли в естественных науках удастся в удобной, изящной форме кратко и точно высказать суждение о каком-либо явлении, то мы говорим: проявилась новая теория. Теория – это, по сути дела, просто такое логическое построение, которое позволяет описать явление существенно короче, чем это удастся делать при непосредственном наблюдении.

В математике картина еще более отчетлива. Бурбаки считают даже, что наука эта тем именно и отличается от прочих, что суждения в ней могут быть свернуты в математические структуры компактные построения, богатые логическими следствиями. Более того, математической наукой могут быть названы далеко не все высказывания, записанные на математическом языке, а только те из них, которые укладываются в математические структуры. Скажем, теория вероятностей приобрела статус научной дисциплины только после того, как А.Н. Колмогоров предложил ее аксиоматическое построение.

Если придерживаться представлений, развиваемых Бурбаки, то математической моделью, описывающей свойства внешнего мира, нужно называть также не всякую запись, сделанную в математических символах, а только такую, в которой в сжатом виде заложено очень большое содержание. Лучший пример, быть может – теоретическая физика. Она устроена так, что содержание ее задается весьма компактными высказываниями, сделанными на языке математики; отсюда и постоянно высказываемое мнение, что построение физики – образец для других наук.

Вот несколько хорошо известных соотношений:

Преобразование Лоренца:

$$x_1' = \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Уравнение Шредингера:

$$\frac{i\hbar\partial\psi}{\partial t} = H\psi$$

Принцип неопределенности Гейзенберга:

$$\Delta p \Delta x \geq \pi \hbar$$

Эти совсем краткие записи несут в себе удивительно богатое содержание, и не удивительно, что они в значительной степени дали толчок к созданию современной физики.

Поиск кратких форм записи заставил физиков ввести в свои теоретические построения вероятностные представления, потому что в системе детерминистических представлений поведение молекул, находящихся в газообразном состоянии, нельзя было задать краткой записью. Вопреки представлениям прежнего времени, к описанию явлений на вероятностном языке пришлось обратиться не из-за незнания, а именно из-за необходимости выразить знание в компактной форме.

Но не только в физике, а и в других областях знаний, даже в гуманитарных науках, видимо, возможно построение компактных высказываний в форме математических моделей. Правда, увлечение математизацией знаний порождает иной раз так называемые «портретные модели», в которых не заключено какое-либо большое содержание, а просто на языке математики записывается то, что с одинаковым успехом можно было бы выразить и на обычном языке. Ясно, что такие модели вызывают только раздражение у представителей конкретных областей знаний. Что нового, например, получила биология от того, что часть ее представлений была переформулирована в терминах теории информации?

Если какое-то сложное явление удалось представить в виде компактной модели, то возникают некоторые основания – скорее, правда, психологического, чем строго логического характера, – полагать, что это описание, может быть, включает в себя и то, что мы еще и не наблюдали, но при известных усилиях сможем наблюдать. Так появляется прогностическая сила теории – возможность предсказать еще не наблюдаемые явления. В этом, собственно, основное отличие современной науки от алхимии, в которой все описывалось на мифопоэтическом языке так, как оно наблюдалось, и поэтому не было возможности предсказывать новые явления. Успех европейской науки в значительной степени носит языковой характер: был найден символический язык компактных представлений.

Компактное представление позволяет моделировать явление во всем диапазоне его возможного развития – достаточно варьировать начальные условия. А отсюда родится возможность управлять явлением, что, в свою очередь, всегда вызывает иллюзию познания. Стоит, однако, чуть поразмыслить, и становится ясно, что умение управлять само по себе не может быть признанным критерием истинности – ведь, к примеру, человечество научилось управлять некоторыми технологическими процессами, скажем металлургическими, еще задолго до того, как появились хоть какие-то научные, в современном смысле, представления о металлургии. На вопрос о том, что же такое познание мира, можно предложить такой ответ: это возможность компактной записи наблюдаемых явлений, ибо компактная запись – как раз и есть то, что дает нам возможность предсказывать и управлять.

Любопытно, что компактная запись наблюдаемых явлений в науке рассматривается как теория даже тогда, когда с ней не связано никакого теоретизирования. Пример: периодическая система Менделеева, будучи компактной записью необозримого ранее многообразия явлений в неорганической химии, сразу же стала рассматриваться как некий весьма существенный вклад в теорию химии. А в то же время в момент появления этой таблицы с ней не связывалась какая-либо теоретизация, во всяком случае, все соображения, связанные с электронным строением атома, были чужды Менделееву.

## 2.

Нынешние сложности в развитии биологии связаны именно с трудностями компактного описания того громадного материала, который легко накапливается в результате наблюдений. Первой удачной попыткой на этом пути была классификация Линнея. Многообразие наблюдаемых фактов было сведено к некоторой системе. Эволюционная теория Дарвина—еще одна попытка компактного представления все тех же данных, но теперь уже в их историческом развитии. Но со времен Дарвина и до наших дней в биологии больше не рождалось подобных всеобъемлющих компактных теоретических построений, обладающих такой же разъяснительной силой, как, скажем, записи соотношений в теоретической физике. Представления о биогенетическом коде, самое большое открытие в биологии последнего времени, – это, собственно, расшифровка самого языка, но вовсе не того, как что-то новое пишется на этом

языке. Успех здесь как раз и обусловлен тем, что в биологии удалось обнаружить близкую нашему интеллекту структуру – язык – и заняться его формальным анализом.

В последнее время стало появляться много работ, в которых строятся математические модели биологических явлений. Возникли даже специальные журналы, посвященные математическим методам в биологии. Казалось бы, наметился прямой путь к компактному представлению знаний и в этой науке. Однако на самом деле здесь все оказалось не так просто, как этого можно было бы ожидать. Во всяком случае, пока еще все возрастающее число работ на биологические темы, содержащие математические модели, не приближают структуру биологической науки к структуре физики. В чем здесь дело?

Математические модели в биологии, как, впрочем, и во многих других разделах науки, например психологии и социологии, можно разделить на два класса – описательные и теоретические.

Описательные модели предназначены для свертывания, компактизации экспериментальных данных, их статистической обработки. При этой модели может быть совершенно безразличен механизм, порождающий те данные, что она «свертывает». В этом сила и слабость этих методов. Статистические модели такого типа не дают представления о внутреннем устройстве изучаемого явления, они свертывают только сами результаты наблюдений. Конечно, и это тоже большое дело – ведь такое свернутое представление данных, естественно, обостряет интуицию исследователя. Но не больше.

Теоретические модели, напротив, претендуют на проникновение в истинный механизм явления. С их помощью возможны подчас весьма содержательные попытки посмотреть, как вела бы себя система, если механизм ее поведения был бы таким, как его задал автор модели, исходя из некоторых, правдоподобных в каком-то смысле, хотя все же и произвольно выбранных предпосылок. Потом имеет смысл сравнить эту модель поведения с суждениями биологов, занимающихся изучением этой же проблемы. Такой диалог часто оказывается интересным. Но если даже его не возникает, то математику любопытно посмотреть на то, что же может следовать из некоторых подчас совсем простых посылок. И иногда результаты оказываются действительно важными. Так, скажем, давно и хорошо известный биологам факт: всякая популяция, в которую входят хищники и поедаемые ими животные, испытывает в своем развитии периодические уменьшения и увеличения численности. Эти взлеты и падения легко предсказываются и объясняются математиком – они следуют из чисто математических особенностей поведения модели «хищник—жертва», которую весьма нетрудно построить.

Математические модели первого типа требуют для своего понимания сравнительно небольших математических знаний и поэтому довольно легко осваиваются биологами. Во всяком случае, использование статистических методов в биологических исследованиях неуклонно растет, и биометрика становится обязательным предметом преподавания на биологических факультетах. Иное положение дел с моделями второго типа. Биологи в своем подавляющем большинстве просто не в состоянии их понять. Здесь требуется знание математики хотя бы в том объеме, в каком ею владеют физики. Но ни биологам, ни математикам, занимающимся построением математических моделей в биологии не приходит в голову настаивать на резком усилении преподавания математики биологам. Хотя студенты-математики слушают курс «Математическая биология», подобный по содержанию курс не читается для биологов. И здесь нет чьей-то ошибки или недомыслия. Все дело в том, что математические модели, претендующие на описание механизма явлений, все же не заключают в себе такого большого содержания, как в математических моделях физики. А то локальное содержание, которое в них есть, оказывается недостаточным, чтобы оправдать интеллектуальные затраты, необходимые биологу для серьезного изучения математики.

### 3.

Получается, что компактное описание биологических систем, охватывающее всю сложность их поведения, оказывается невозможным. Почему? Ответ на этот вопрос дает Ж. Моно в своей книге «Необходимость и случайность». Он утверждает, что биологические явления нужно описывать не в терминах необходимости, а в терминах случайности. Я бы интерпретировал его

слова так: сложность явлений биологического мира такова, что он не может быть описан короче, чем с помощью прямой записи всех наблюдаемых явлений. А по результатам краткой серии наблюдений не удастся записать алгоритм, который бы задавал, хотя бы приближенно, дальнейшее развитие системы. Рассмотрим это утверждение в развернутой форме. Одна из особенностей биологических систем состоит в том, что происходящие в них явления идут как бы на двух уровнях. Один – поверхностный, когда явления протекают в некоторых установившихся внешних условиях, другой – глубинный, генно-молекулярный, который включается в действие, когда резко изменяются условия существования системы. Явления, протекающие на поверхностном уровне, в какой-то степени все же поддаются записи, но зато знания о них не представляют особенно большого интереса. Допустим, мы имеем дело с изучением какого-нибудь водного бассейна – озера или даже океана. События, протекающие в таком бассейне, при спокойном его существовании, по-видимому, как-то все же могут быть описаны в сжатой форме с помощью системы дифференциальных уравнений – составляющими этих уравнений оказываются скорости, с которыми одни виды поедают другие. Но когда условия существования бассейна изменятся, то модель, описывающая явления на поверхностном уровне, оказывается бесполезной. Если, скажем, резко изменятся геологические или метеорологические условия или если просто в бассейн будут добавлены в большом количестве инородные вещества, например нефть, то на генно-молекулярном уровне включается в игру генератор случая. На молекулярном уровне происходят процессы, задаваемые мутациями, то есть случайными изменениями, на которые при их проявлении накладывается жесткая, однозначно действующая грамматика языка биологического кода.

Рассмотрим еще один пример. В биологии хорошо известна математическая модель для ситуации «хищник – жертва», речь о которой уже шла. В общих чертах здесь все достаточно просто: изменение численности одной из двух популяций приводит к изменению численности другой. Устанавливается динамическое равновесие. Колебательный характер поведения системы задается не внешними условиями, а самой структурой системы. Математическая модель позволяет в деталях описать динамику системы. Обратимся теперь к системе «хозяин – паразит», полагая, что хозяином будет некий коллектив людей, а паразитом – тараканы, крысы или комары... На первый взгляд здесь все совсем просто. Популяция людей не зависит от уменьшения или даже полного исчезновения паразита. Постоянно растут технические возможности человека, порождающие и новые способы борьбы с паразитами. Отсюда, казалось бы, с очевидностью следует, что паразиты неизбежно должны исчезнуть. Но на самом деле все не так: в высокоразвитых странах можно увидеть тараканов – сидят они в щелях благоустроенных домов, шевелят усами и посмеиваются над человеком, а на современных пароходах с комфортом путешествуют крысы. Можно ли построить математическую модель, описывающую эту ситуацию и позволяющую найти оптимальный способ борьбы с паразитом? Здесь нужно учитывать и геометрию щелей и дыр, и пути миграции паразитов – существующие и потенциально возможные, а также хитроумность крыс, умеющих разгадать уловки человека и адаптироваться в быстро меняющихся условиях, и множество других факторов, трудно поддающихся не только измерению, но даже и перечислению. Факторы, представляющиеся нам на первый взгляд малозначительными, могут приобрести решающее значение, если некоторым случайным образом изменится ситуация. Случайность здесь опять оказывается просто синонимом сложности: наблюдаемые явления не могут быть описаны короче, чем те тексты, в которых они выявляются. Но статистическое описание оказывается также невозможным: некоторые из ситуаций изменяют поле элементарных событий – происходит перераспределение вероятностей, задающих вес отдельных факторов. Не является ли такая ситуация типичной в биологии?

Здесь существует глубокая аналогия с речью, в которой случайность задается размытостью смысла слов, а на эту размытость накладывается грамматика. Не случайно, что математический подход в биологии наиболее эффективным оказался при описании законов передачи наследственности, так как здесь объектом анализа оказалась жестко устроенная грамматика.

Мы говорим, что «природа изменчивости в биологии таится в случае», потому что не можем найти такой формы записи, которая была бы существенно короче, чем самое «полное» описание наблюдаемого явления. Иными словами, нельзя построить модель генератора, порождающего

мутации, в привычных нам терминах причинно-следственных связей, то есть, нельзя найти причины, однозначно порождающие все наблюдаемое многообразие мутаций.

Но беда в биологии состоит вовсе не в том, что мы вынуждены перейти на язык вероятностных представлений, – здесь нет еще ничего страшного, в чем убеждает пример физики. Неприятный сюрприз состоит в том, что, признав природу изменчивости случайной, мы, к своему большому удивлению, лишены возможности использовать привычный вероятностный подход. Ведь статистическое описание возможно, когда по результатам наблюдений, сделанным над малой выборкой, удастся получить некоторое представление о поведении всей возможной последовательности явлений. А в случае с биологической изменчивостью наблюдения над малой последовательностью явлений не позволяют высказать каких-либо суждений о дальнейшем поведении системы. Усредненные характеристики в отличие от физики здесь не имеют значения! Важны отдельные явления в своем индивидуальном проявлении в независимости от того, какова вероятность их появления. Причина тут в том, что процессы разыгрываются длительное время и охватывают большое число биологических объектов – носителей мутаций, и, стало быть, события даже очень малой вероятности могут реализоваться. Но, раз случившись, они могут иметь громадные и совершенно непредсказуемые последствия – в том, скажем, случае, если в результате мутации возникают признаки, благоприятные для данного особого положения биологической системы. Такая ситуация создается, когда в море, залитом нефтью, появляются бактерии, умеющие эту нефть разлагать, или когда возникают микроорганизмы, способные «поедать» антибиотики, – сейчас обнаружили штаммы, для нормального развития которых необходим стрептомицин. Так неожиданно и отнюдь не сразу выявились многие неприятности с антибиотиками. Реакция микроорганизмов на изменяющиеся условия поразительна – она происходит на наших глазах. Бактерии приобрели устойчивость одновременно к четырем различным лекарственным препаратам – к стрептомицину, хлоромитицину, тетрациклину и стрептоциду. Устойчивость бактериям придает так называемый «фактор «Р»», который может молниеносно распространяться по всей популяции. Возможные последствия возникшей здесь угрозы трудно оценить. Мои сотрудники рассказывали мне об опытах с хрониками – больными туберкулезом. У них брали для культивирования мокроту и на нее действовали многими препаратами по правилам планирования эксперимента. Результат был удивительным – критическим оказалось то сочетание препаратов, которое с позиций врачей было бессмысленным. Здесь все выглядит так, как будто бы микробы усвоили мышление врачей!

Ситуация в биологии, увиденная глазами математика, такова. На некотором поле элементарных событий с весьма малой вероятностью заданы некоторые существенные по своим последствиям события. Если одно из них реализуется, то сразу же возникает другое поле событий с иным распределением вероятностей. Отсюда ясно, что некие маловероятные явления могут дать толчок к другим явлениям, развивающимся теперь уже на новом поле событий. Скажем, врачи сейчас утверждают, что появления хотя бы одной злокачественной клетки достаточно для развития ракового заболевания. Вероятность появления одной такой злокачественной клетки в некотором определенном органе у данного человека в определенный интервал времени, по-видимому, мала. Но если такая клетка все же появилась, то немедленно изменяется поле элементарных событий, и с большей вероятностью будут ожидать уже вполне определенные неприятные явления.

Сейчас часто приходится слышать сетования на то, что существующий язык математики недостаточен для описания биологических явлений, и призыв создать какой-то новый, совсем особый раздел математики, специально приспособленный для моделирования биологических задач. Но мне думается, что дело здесь не в языке, а в том, что мы тут имеем дело с такой ситуацией, когда прошлое не дает никакой информации о будущем.

Сложность Системы оказывается максимальной, и в этом смысле она случайна. Хочется здесь напомнить, что и сам Дарвин при описании процесса эволюции апеллировал к случаю. Но для него случайность была синонимом незнания. Вот что он писал в «Происхождении видов»: «Я здесь несколько раз говорил так, как будто изменчивость... обязана случаю. Это, конечно, совершенно некорректное выражение, но оно служит для откровенного признания нашего незнания причины каждого частного случая изменчивости».

Определение случайности как максимальной сложности позволяет отказаться от господствовавшего в западной культуре в течение двух тысячелетий представления о случае как о выражении нашего незнания.

Представьте, перед вами роман «Война и мир» – попробуйте передать его кому-нибудь в форме более короткой, чем он написан. Здесь, казалось бы, мы все знаем, но тем не менее не можем текст представить короче, чем он есть.

Из понимания случайности как максимальной сложности следует, что описание мутаций как случайных явлений отнюдь не противоречит (как это раньше думали) представлениям о направленной эволюции – номогенезу Л. С. Берга, устремленности к точке омега у Тейяра де Шардена. Тексты, задающие направленную эволюцию, могут обладать максимальной сложностью, и потому восприниматься они будут как чисто случайные. Может быть уместен вопрос: не изучает ли биолог только семиотические проявления жизни, не пытаясь проникнуть в ее семантику?

#### 4.

Можем ли мы сказать что-нибудь определенное о том генераторе случая, которым задается биологическая эволюция? Где он материально воплощен? Что является его математической моделью? Если случайность интерпретировать как максимальную сложность, то весь разговор в значительной степени теряет смысл. Долгое время, начиная от Аристотеля и, пожалуй, до конца XIX века, философы и многие ученые склонны были приписывать желание описывать что-то в терминах случая нашему незнанию. А теперь, когда мы говорим о случайности, как о максимальной сложности, то не есть ли это просто некоторая переформулировка прежнего утверждения? Мне представляется, что это все же нечто существенно большее: предвестие изменения сегодняшней парадигмы науки, признание того, что мы не можем описать что-то не из нашего невежества, а из-за сложности, принципиально не поддающейся описанию. Может быть, кто-то скажет, что прогресс здесь не очень большой — мы по-прежнему не способны проникнуть в сущность того, чего не можем описать, а лишь находим для этого более серьезные основания, чем просто признание своего невежества. Ответом этому критику могло бы послужить следующее соображение. Идея о максимальной сложности природы, о генераторе случая, действующем в биологических явлениях, позволяет хотя бы отказаться от некоторых бесплодных попыток объяснить происходящее в живой природе. Становится, например, очевидным, что все разговоры о том, будто биологическую изменчивость можно как-то связать с жестким излучением и другими подобными факторами, на самом деле ничего не объясняют — ведь все это лишь некоторые устройства, которые только включают или ускоряют действие все того же генератора случая, а механизм его остается все так же неизвестным нам.

Но так ли уж безнадежна ситуация? Вот пример сложной конструкции, созданной таким генератором случая, о природе которого мы все-таки можем что-то сказать.

Недавно мне удалось посмотреть ставшие теперь широко известными пещеры в Новом Афоне на Кавказе. Это целая анфилада помещений. Здесь поражает какое-то единство замысла, внутренняя целостность. Некоторые пещеры напоминают храмы, другие — преддверие к ним. Это ритм, застывший в камне. Вот перед вами остановившийся в своем движении занавес — причудливо извиваются на нем окаменевшие струи складок, где-то дальше сталактитовые колонны, по стенам — чудовища, как химеры на Нотр-Даме... Все это порождено двумя факторами противоположной природы — с одной стороны, действием физико-химических закономерностей растворения и кристаллизации, поддающимся строгому описанию в причинно-следственных представлениях, с другой стороны — случайностью, создаваемой неоднородностью горных пород, их спонтанным движением, сезонными и вековыми изменениями метеорологических условий. Если хотите, здесь мы можем сказать, что на языке физико-химических закономерностей происходит считывание информации с генератора случая, задаваемого поведением литосферы; в результате этого считывания возникают тексты-пещеры. Здесь мы что-то знаем о том, где материализован генератор случая. Хотя нам все же трудно представить его математическую модель, ясно, что она должна содержать и фрагменты периодических составляющих, связанных с метеорологическими процессами. О случайности мы

здесь говорим только в смысле сложности: ни сами пещеры, ни порождающие их причины нельзя записать каким-то простым способом, наши записи, если бы мы попытались их сделать, не могли бы быть существенно проще, чем описание всего многообразия явлений. Сказанное можно интерпретировать еще и так: перед нами художественное архитектурное сооружение, созданное игрою случая и, что особенно важно, возникшее сразу, без отбора лучших вариантов из множества случайно порожденных, как это имеет место в биологической эволюции.

## 5.

Но вернемся к биосфере. Что же все-таки мы можем сказать здесь о генераторе случая? Ясно, что это не просто внесение ошибок по закону действия рулетки в тексты, ранее записанные на языке биологического кода, ибо если бы вся эволюция была только искажением первоначально записанного текста, то как же сложен он должен был бы быть еще в момент своего возникновения и кем он мог бы быть составлен? Генератор случая, – безусловно, нечто материальное, какой-то механизм, глобальный характер которого не позволяет пока его объяснить. Но пока этого не случится, не будет и теоретической биологии – во всяком случае в том смысле, как мы говорим о теоретической физике.

Сложность проблемы еще не значит, что можно лишь сидеть, сложив руки, и ждать, когда пройдет время и развеются тучи. Генератор случая можно пытаться обнаружить по вызываемым им тонким эффектам. Любой исследователь, которому приходилось при работе на ЭВМ использовать генератор случайных чисел – а это весьма распространенное времяпровождение, – знает, что нельзя придавать большое значение тонким эффектам, проявляющимся в поведении модели. Они, как правило, порождаются тем, что все наши генераторы случайных чисел несовершенны – истинно случайной последовательности они не дают. В то же время любой биолог постоянно наблюдает тонкие, малообъяснимые эффекты, накладывающиеся на понятное ему поведение системы в целом. Нет ли тут некоего намека, подаваемого нам природой?

С другой стороны, обнадеживает и еще одно обстоятельство. Именно сейчас, когда возникла настоятельная необходимость направить научную мысль на построение каких-то, хотя бы весьма гипотетических, представлений о природе генератора случая в биологии, деятельность человека создает обстановку, благоприятную для частого, а то и постоянного включения этого генератора случая. Создается она, с одной стороны, тем, что резко изменяются условия обитания на больших площадях земли и океана, с другой стороны – благодаря воздействию на человека антибиотиками, сильными химическими средствами, а в ближайшем будущем, возможно, и прямым вмешательством в генную структуру жизни. Современная биология не подготовлена к ответу на вопрос о том, что в результате всего этого может произойти. А история науки показывает: требования, диктуемые временем, всегда удовлетворяются. Теоретическая биология становится, если смотреть на вещи под этим углом, не благим пожеланием, а насущной необходимостью. Наука о живом оказалась в таком состоянии, когда вдруг открылась взору мера нашего незнания в узкой, но существенной области. Живые системы предстали перед нами в новом обличье. Это случайные в своем существенном проявлении системы, но случайность здесь в отличие от неживой природы устроена так, что решающую роль играют маловероятные события. Современная наука, включая и такие ее разделы, как теория вероятностей и математическая статистика, оказалась неподготовленной к встрече с подобными необычными структурами.

Поэтому и нет до сих пор теоретической биологии.

**"ЗНАНИЕ-СИЛА", 1979 г., № 7, с. 9-11**

Сайт "От молекул до планет". <http://omdp.narod.ru/gip/gipkat.htm>