

Совмещать все уровни вовсе не значит говорить (и думать) сразу обо всем. В конце концов, не столь уж неправ был и Козьма Прутков: нельзя объять необъятное. Может, он изменил бы свое мнение, избежал бы категоричности, предвидя появление современных ЭВМ. Шутка... Потому что это и сегодня еще невозможно, даже если приковать себя к самому мощному из вычислительных устройств, какими владеют специалисты в области прикладной математики.

— Первое чувство, которое возникает у математика при взгляде на биологию, — не устает повторять Молчанов, — это чувство священного ужаса. Представьте себе структурные уровни, с которыми приходится иметь дело. Низший — излучение, частица, атом, молекула. Чуть выше — микромолекула, органелла, клетка, ткань. Еще выше — особь, популяция, биогеоценоз, биосфера. И, наконец, для полноты картины — Земля, Солнце, Галактика, Вселенная. Итак, хотя и достаточно произвольно, я насчитал 16 уровней, из которых 14 относятся к биологии вне всякого сомнения. Причем каждый отличается от следующего на три-четыре порядка — размерами исследуемых объектов, скоростями протекания процессов и другими существенными переменными.

Ощущение и впрямь жутковатое. Попытаться найти общие закономерности, строить какие-то модели представляется делом абсолютно бесперспективным. И все же выход есть. Во-первых, все моделировать не только невозможно, но и не нужно — только главное, а в нем только то, что уже созрело. Во-вторых, пора переходить от привычной для биолога, и не только для него, горизонтальной логики исследования к логике вертикальной, к поиску аналогий и общих закономерностей для разных явлений и разных областей наук, то есть способу мышления, традиционному для математики...

(Что может дать такой подход? Как минимум значительную экономию времени. Потому что отпадает надобность (а можно сказать, традиционная практика) открывать одни и

те же, в сущности, закономерности на разных по сложности организации уровнях и даже на одном и том же.

Ученик Молчанова, по образованию генетик, Алексей Кондрашов «подбросил» доказательства подобной практики. Господа биологи, говорит новообращенный программист, с одинаковым рвением исследуют анатомию сосудистых пучков, придающую максимальную прочность растениям, столь же глубокомысленно обсуждают строение пластинок-балочек в трубчатых костях человека, восторгаются оптимальным углом в ветвящихся кровеносных сосудах, придающих им высокую гидродинамическую устойчивость. А все это одна и та же страница общеизвестного сопромата.

Доказательства из другой области подкинул биофизик Евгений Евгеньевич Фесенко:

— Мы разбираемся в механизме хеморецепции, благодаря которой молекулы узнают своих партнеров по химической реакции и передают сигнал по цепочке дальше. Сегодня ясно, что хеморецепторная цепочка практически не отличается от функционирующего в глазу фоторецепторного аппарата, с тем лишь отличием, что второй запускается не химическим контактом, а квантом света. Тем не менее фермент, работающий в глазу (и, к слову, обеспечивающий энергией рибосому), называется ГТФ-азой, а в хеморецепции — трансдуцином.)

Но мы прервали Молчанова в самом начале его монолога:

— Математическое мышление закалилось в процессе поиска общих закономерностей природы независимо от того, какой наукой — физикой, химией, астрономией, биологией или на каком уровне сложности они были открыты. А проверить, насколько справедлива обнаруженная закономерность для другого уровня или явления, помогают именно математический анализ, моделирование и реализующее его программирование.

Лет десять назад, взаимодействуя с медиком, я построил математическую модель иммунитета. Мы преследовали одну цель: нас интересовало проявление колебательных процессов в динамике туберкулеза...

(Одна из первых в биологии, та модель наделала шуму. Всего два простых уравнения высвечивали множество свойств системы, объясняя сложности, с которыми сталкивались врачи, например эффекты недо- и перелечения. Скажем, «перебúхали» антитело — лекарство, с помощью которого организм сражается с возбудителем болезни — антигеном. Действие вызвало противодействие, система качну-

лась в сторону нарастания антигена, бороться с которым будет некому, так как антитела восстановиться не успевают.)

Когда модель была построена, обнаружилось, что она — богаче. И мы решили изучить ее саму по себе, заменив конкретные иммунологические представления абстрактными иксами и игреками.

Изучая модель на машине — аналитически, качественно, всячески, — мой ученик-математик неожиданно заметил, что при определенном значении параметров система уравнений получается механической. Любопытно здесь вот что: хотя модель отражала иммунитет как свойство организма, абстрактное уравнение стало иллюстрировать чисто механические колебания. Чтобы было понятно дальнейшее, добавлю: для математика есть волшебное слово — первый интеграл; он возникает в модели при значении параметра альфа, равном единице. Как только такой интеграл был найден, мой ученик понял, что это — при определенном значении параметров — механическая система.

На следующее утро я уже знал, что модель механическая при всех значениях параметров! Но если для рассмотрения иммунитета безразлично, больше альфа единицы или меньше, то в механике это не годилось принципиально. Потому что в одном случае получалась система с трением, в соответствии с чем колебания будут затухать, а в другом — с подкачкой энергии, то есть с нарастанием колебаний... или, что одно и то же, с отрицательным трением!..

(Потому-то взъярились химики на реакцию Белоусова, которая словно бы опровергла неизбежность трения, или, что то же самое, энтропии. Неживая система не может восстанавливать энергетические ресурсы, истощение которых сопровождается нарастанием энтропии — равновесия, покоя. Напротив, обеспеченные колебательным регулированием расхода энергии живые существа, «уклоняясь» от равновесия, словно бы выбрасывают энтропию во внешнюю среду, или, как произнес еще Э. Шредингер, «питаются отрицательной энтропией». Прозорлив был поэт, утверждая, что «покой нам только снится»!..)

Здесь самое время сказать одну важную вещь. Есть такое понятие — физический смысл. Для меня нет ничего враждебнее. Это — своеобразные шоры. Когда физик говорит, что задача лишена физического смысла, это означает одно: в его практике подобная задача не встречалась. И в случае с моделью иммунитета, попавшей в область механики, задача

лишалась всякого смысла: отрицательного трения, чтобы амплитуда колебаний ни с того ни с сего возрастала, не бывает.

То-то и хорошо. Механикой — классической, небесной, квантовой — я всю жизнь занимался, можно сказать, продрался насквозь. Но когда областью ее применения для меня стала биология, выяснилось нечто такое, чего и я раньше не знал. В частности, что есть системы, которые обладают как свойством трения, так и способностью подкачки энергии, благодаря чему возможность движения сохраняется.

В итоге, переведя биологическую модель в область «чистой» механики, мы взяли на вооружение алгоритмы, давно в механике отработанные, и воспользовались ими для изучения модели, которая в механике никогда раньше не рассматривалась. И обогащенными вернулись вновь в биологию. Так, благодаря применению вертикальной логики, происходит обогащение на первый взгляд далеких одна от другой областей наук.

Кстати говоря, думая о «горячих точках» в биологии, где в ближайшее время можно ожидать наиболее вероятный прорыв в скрытые пока от нас закономерности природы, я отдаю пальму первенства именно иммунологии. Здесь изучена достаточно глубоко и широко система в целом — на молекулярном, клеточном, органном, организменном и популяционном уровнях. На каждом из них работают большие группы специалистов. Чувствуется явный социальный заказ, опирающийся на созревшие идеи и технические возможности.

А для меня случай с моделью иммунитета стал поворотным пунктом, заставившим думать над проблемой целиком. Не только в рамках конкретных задач — вообще о роли математики в биологии, о возможностях математики как инструмента биолога.

В связи с этим одно размышление. Распавшись на множество самостоятельных научных дисциплин, биология нуждается в универсальном языке, без освоения которого сегодня не обойтись никому. Разрабатывается он давно. Цитирую Галилея — «книга природы написана на языке математики» и Ньютона — «единственный язык, на котором можно разговаривать с природой, — это математика». Хочу вспомнить и Гиббса, который также сказал, что математика — это язык. Но, приводя фразу не полностью, теряют заложенный в ней смысл.

Ситуация была достаточно драматичной. В колледже, где Гиббс преподавал, шло обсуждение очередной перестройки

школьной программы (нескончаемой от сотворения мира). Было предложено математику сократить, а за счет освободившихся часов расширить преподавание языковых дисциплин. Тогда-то молчаливый Гиббс и сказал предельно кратко: «Математика — это ТОЖЕ язык». Но не только. Защищая математику, он вовсе не отождествлял ее с языком.

Что же она еще? Инструмент познания. Известен афоризм: «Природа не храм, а мастерская, и человек в ней — работник». А математика, продолжу я, тот инструмент, которым грамотный ученый может работать в мастерской природы.

Период «бури и натиска» молекулярной биологии был необходимым, замечательным, грандиозным, восхитительным. И никакой математики, разве что арифметики, в это время биологам не требовалось. Но настоящая работа только теперь и начинается. Из колоссальной по объему россыпи информации предстоит организовать подлинное знание, понимание законов жизни и ее проявлений.

На меня производит огромное впечатление тот факт, что вирионы, которые даже белковой оболочкой обзавестись не успели, выстроены из 100—200 нуклеотидов, что вирусы насчитывают до 100—200 тысяч таких букв-символов, бактерии — от 1 до 5 миллионов, а клетки млекопитающих — до 5 миллиардов. Иными словами, наследственная информация примитивного фага записана на одной странице текста, кишечной палочки — уже на 2000 страниц, а клетки человека — на миллионе. Грандиозно и многозначительно. Но какие выводы из этих «текстов» следуют? Никаких. Из линейной последовательности нуклеотидов и аминокислот понять, как работают гены и белки, невозможно. Для этого потребуются весь многовековой опыт математики, которая фиксирует и впитывает идеи естествознания на всех его уровнях, вся мощь понятийного математического аппарата.

Кстати говоря, я лишь недавно осознал, откуда в математике присутствует раздражающий многих педантизм. Полагаю, что это качество появилось еще у древних греков при установлении демократической практики гражданского процесса. Иными словами, развитие математики и юриспруденции шло параллельно. И если до этого первая была открытием, жречеством, проявлением чего-то свыше, то с возникновением второй она приобрела едва ли не главное из своих качеств.

Когда ведущие тяжбу стороны приходят к третейскому судье, то возникает сложная юридическая процедура — со-

ревнование двух равно ответственных и равно независимых лиц, опирающееся на систему доказательств. Предстоит выяснить, кто прав — истец или ответчик.

Украл Петр петуха у Матвея или не украл? Допустим, что... Если Петр не крал петуха, но петух был украден, то... Допустим от противного, что Матвей не крал собственного петуха, тогда... Каждый раз «если так, то так, а если так, то этак». Словечко «если» и определяет систему допущений, условий в математике, а в программировании ныне имеет просто решающее значение.

Перечитывая недавно «Сагу о Форсайтах», я наткнулся на замечательную сцену. Сомс дарит своей дочери Флер 50 тысяч фунтов. Этот дар в обсуждении с Майклом, женихом, он обставляет нескончаемым перечнем условий. Если она выйдет замуж, то... Если это произойдет до совершеннолетия, то... А если после совершеннолетия, то... И если у Флер родится сын, то... А если у Флер родится дочь, то... И уже когда совершенно опалевший Майкл решает, что с процедурой завещания покончено, невозмутимый Сомс добывает жениха: а если у Флер совсем не будет детей, то...

Так вот, если у Флер совсем не будет детей... Я-то теперь точно знаю, что чаще всего в жизни и в научных исследованиях встречаются как раз такие ситуации, которых не ожидаешь вовсе. Глубочайшая связь между юридическими «если» и математическими схемами наиболее точно отражает характер мышления математика, безусловно необходимый современной биологии. Все сваливая в кучу, не дифференцируя, не пытаясь установить границы применимости тех или иных теорий-выводов, без самокритики, логических фигур доказательств от противного можно напороться на подводные рифы или упустить крайне тонкие и важные вещи, особенно в эволюционном плане. Потому что, как только начинаешь думать в рамках больших отрезков времени, цепочки обязательных «если» начинают приобретать решающее значение. Не учитывать времени — величайшего архитектора Природы — значит облегчить себе решение задачи, или, что то же самое, только потешить себя возможностью ее решения.

Тем самым я возвращаюсь к вертикальной логике, к поиску аналогий на других уровнях, объектах, явлениях.

Есть такая рыба — нерка, которая плавает в водах Тихого океана, а нереститься возвращается к берегам Камчатки, проникая из Авачинской бухты по речке Паратунке в озеро Дальнее. После того как икринки оплодотворяются и молодь

наберет силу, взрослые особи распадаются, как считалось, на два вида. Большинство вновь отправляется в Тихий океан, а меньшая часть — карлики — никогда озера Дальнего не покидают.

В свое время ленинградский математик В. Меншуткин, используя данные своих коллег — ихтиолога и гидробиолога, разработал математическую модель экологической системы озера Дальнего, за что все трое были удостоены Государственной премии СССР. Модель была сделана на машине «Раздан», по нынешним временам устаревшей. Случайно узнав, что «Раздан» списывается, а модель за ненадобностью может пропасть, я отправил в Ленинград сотрудника с заданием переписать модель на нашу, более современную и мощную машину. В процессе переписывания возникла мысль модель улучшить, пожертвовав экологическими задачами ради генетических — проблем видообразования.

Тот мой сотрудник (биолог по образованию, генетик с математическим уклоном, который он избрал, уже работая в НИВЦ) утверждал, что вид делится пополам. Я возражал, настаивая на продолжении поисков. А чтобы обосновать мою настойчивость, рассказал о некоем наблюдательном французе по фамилии Плато, который жил сто лет назад и оставил по себе память словосочетанием «капелька Плато». О чем речь? Если чуть приоткрыть водопроводный кран и внимательно посмотреть, как с него медленно скатывается капелька, то можно увидеть, что вначале возникает перетяжка. И когда срываются две капли — большая и малая, то вслед за первой летит совсем маленькая — капелька-спутник, «вышедшая» из перетяжки. То есть медленно вытекающее количество воды делится не пополам, а на три части. По такому же принципу распадается ядро урана — с нейтроном в виде «капельки Плато». Так вот, я утверждал, что в процессе видообразования должна появиться точно такая же третья капелька-спутник.

Спустя полгода работы на модели генетик получил условия, при которых образование двух видов сопровождалось возникновением третьего. Больше того, увлекшись задачей, он выявил условия, при которых третья капля не образуется.

Вывод? Не владея вертикальной логикой, не видя связи между биологическими популяциями, ядром урана и «капелькой Плато», молодой биолог, получив два вида, параметры задачи менять не стал бы и посчитал ее решенной. Не имей я власти руководителя...

«Капелька Плато» — это так, для начала. На самом деле там должны возникать «четки» — много капелек. Конечно, при определенных условиях — когда перетяжка образуется крайне медленно, как в истинных временах эволюционного процесса. И действительно, в дальнейших расчетах было получено, если мне не изменяет память, семь капелек! Семь видов!

Еще одна историческая параллель. Первыми математическими правилами пользовались уже в Древнем Египте и Вавилоне. Но то были, скорее, инструкции, рецепты и примеры, как решать ту или иную конкретную задачу. Иными словами, это была прикладная арифметика, совокупность правил вычисления, с помощью которых писцы рассчитывали заработную плату, урожай хлеба, земельные наделы. И только греки впервые стали выводить одни математические положения из других, превращая арифметику в математическую теорию, с помощью которой хотели объяснить все сущее. Ныне разница между «чистым» — классическим биологом и представителем новой волны, умеющим работать с машиной, заключается, образно говоря, в переходе от догреческой к послегреческой методологии познания. От применения совокупности «арифметических» правил вычисления к использованию развитых в прошлом математических идей, к математизации знаний о природе.

Современный биолог, в первую очередь генетик, понимает, что математика благодаря ЭВМ стала экспериментальной наукой. И коль скоро мы в состоянии строить математические модели биологических явлений, то мы обретаем возможность ставить и математические эксперименты над биологическими моделями, абсолютно нереальные в натуре. Те, кто сумеют, значительно опередят всех остальных в понимании глубинных законов природы.

Работая, скажем, на клеточном уровне, невозможно предвидеть все варианты развития исследуемого явления. На деятельность клетки оказывают влияние события, разыгрывающиеся как «снизу», на уровне молекул и органелл, так и «сверху», во внешней среде. И если построить сложную многоуровневую систему, выбрав момент, когда клетка теряет устойчивость, а затем учесть возможные влияния на нее снизу и сверху (тут-то и возникают обязательные «если», учет совокупности которых заставляет от «или — или» перейти к «только так, а не иначе»), то мы, надеюсь, избавимся от случайностей, непредсказуемости и, следовательно, часто неизбежных ошибочных выводов. Для построе-



ния и работы с такими системами необходимы математический анализ с дифференциальными уравнениями и программирование.

Или 1000 поколений!.. А где их взять?! Даже одно поколение, скажем, кишечной палочки созревает за 20 минут. Чтобы вырастить тысячи поколений, в ферментерах микробиологов потребовались бы огромные объемы, иначе бактериальная культура погибнет. Значит, без машины не обойтись. Конечно, на ЭВМ можно наврать в условиях, плохо смоделировать, неизбежно предельное упрощение модели. Но благодаря машине появляется возможность ставить далеко идущий эксперимент, предсказывать векторы эволюционного развития.

ЭВМ — средство восстановления целостного представления об организме, популяции, биосфере. Усиливающийся интерес к изощренному понятийному математическому аппарату отражает глубинный процесс эволюционизации биологии вообще и молекулярной в частности. Процесс, который вернет нам целостное представление о природе, окружающем нас мире.