

ПРЕДИСЛОВИЕ

И биологам и математикам привычна статистическая обработка экспериментальных данных — традиционная форма использования математики в биологии. Чаще всего, правда, дело сводится к вычислению средних и дисперсии. Если же построен закон распределения (гистограмма), то это, несомненно, высшая математика.

Ничего похожего не найдет читатель в предлагаемом его вниманию сборнике. Цель сборника — привлечь внимание математиков к особенностям теоретических построений, характерных для биологии.

Самый очевидный, лежащий на поверхности, вывод состоит в том, что биологи и математики говорят на разных языках. Если бы, однако, дело этим и ограничивалось, то вряд ли стоило проводить школу и издавать сборник лекций, прочитанных на этой школе биологами для математиков.

Стоит пристальнее разобраться в том, почему столь различные языки биологии и математики. Наиболее распространенный взгляд на причину различия таков — жизнь сложна, а математика проста, вот и вся причина. В противовес такой точке зрения стоит попытаться проанализировать исторические причины разногласия биологических и математических подходов.

Суть математического подхода можно охарактеризовать одним словом — **аксиоматика**.

Аксиоматический метод блестяще зарекомендовал себя в геометрии и на два тысячелетия сделался образцом построения строгой теории. Замечательные исследователи от Коперника до Лапласа, создавшие небесную механику, гордо именовали себя геометрами и в их руках аксиоматический метод одержал, пожалуй, самую замечательную победу, позволившую естествознанию (в лице Лапласа) заявить, что оно не нуждается в гипотезе творца для объяснения небесных явлений. Тем парадоксальнее кажется живучесть пережитков теологии в делах сугубо земных, в проблемах жизни, в изучении биологических явлений. Одной из важных причин этого является очевидная, на первый взгляд, несостоятельность аксиоматического подхода к биологии, фактически беспомощность математических методов.

Статьи, собранные в предлагаемом вниманию читателя сборнике, позволяют несколько прояснить ситуацию. Основой любой математической схемы является выделение **элементарных объектов**.

ектов. В геометрии — это точки, прямые и плоскости, в небесной механике — это материальные точки, в физике — это элементарные частицы.

И вот в этом главном пункте — определении элементарного объекта — аксиоматика в биологии не имеет, видимо, шансов на успех. Если в прошлом веке создание клеточной «теории» вызывало оптимизм, то, чем дальше развивались исследования, тем яснее становилось, что клетка не является элементарным объектом ни в каком смысле этого слова. Выяснилось, что клетки не менее разнообразны, чем предыдущий «претендент» на роль элементарного объекта — организм.

Некоторое время назад казалось, что молекулярная биология даст долгожданный теоретический базис для включения биологии в орбиту точного естествознания. Но сейчас уже мало кто разделяет эти надежды даже применительно к проблеме строения и функционирования органелл клетки, не говоря уже о самой клетке. И все же возможности именно аксиоматического метода далеко еще не исчерпаны в биологии.

Однако само понимание аксиоматического подхода нуждается в серьезном уточнении. Главную тему аксиоматики можно сформулировать так: после трудного, иногда многовекового отбора, отсева экспериментальных фактов удается выделить такие основные элементарные объекты и понятия, что все остальное экспериментальное знание может быть выведено (и уточнено!) чисто логически из этих основных элементарных аксиом. Но все дело в том, что элементарными объектами могут быть не только материальные, вещественные предметы — наравне с ними можно говорить об элементарных отношениях (связях) и об элементарных процессах.

Если элементарные объекты (материальные точки, частицы, звезды) весьма пристально изучались исследователями, то отношения, связи исследуются значительно реже. Пожалуй, наибольшее продвижение в этом направлении в биологии дает классификация Линнея, которая формально относится к объектам (организмам), но фактический ее предмет — отношения, принадлежности.

Но вот почему уже решительно не повезло, — так это элементарным процессам. Даже сама постановка вопроса о существовании элементарных процессов звучит еретически. «Неужели можно изучать процесс, движение, само по себе, независимо от того, что движется?» И хотя фактически именно этим и занимается математический анализ вот уже несколько веков, четкая формулировка обычно вызывает сопротивление и недоверие не только биологов, но даже физиков.

Возможно самый главный результат, который можно извлечь из взаимодействия биологов с математиками, состоит в следующем. Биология решительно отличается от наук «математического естествознания» своей чрезвычайной «неудобностью» для всех и всяческих рамок и формализаций. Надежды на по-

строительство единой теории биологии подобно физике совершенно нереальны, по крайней мере в настоящее время. Тем не менее богатейший материал биологии может и должен быть формализован созданием частных теорий, построенных по аксиоматическому образцу.

Можно представить себе таблицу теорий с тремя входами. В одном входе перечислены элементарные объекты, другой вход — элементарные отношения, третий — элементарные процессы. Каждая частная теория берет несколько «клеточек» по каждому из входов (в частности по одной), а самые простые имеют дело либо с одним элементарным объектом, либо отношением, либо процессом. При этом надо предъявить два важнейших требования, решительно отличающих самую простую теорию от самой сложной модели.

В теории, во-первых, должны быть четко сформулированные постулаты — основные, элементарные объекты, отношения и процессы. Во-вторых, всякая теория должна содержать указания на границы применимости. Желательно, конечно, чтобы эти границы исследовались также теоретически, но можно указать и предположительные экспериментальные условия, при которых нарушается применимость теории. Из математики надо взять аксиоматичность, а из физики принцип соответствия. Но в отличие от физики, представляющей «принцип соответствия» иерархически, где новая теория объемлет старую — содержит ее как частный случай, в биологии теории должны быть более равноправны — существенно наличие зоны перекрытия между теориями. Формально это можно описать так: для пары теорий А и В должна быть теория С, являющаяся предельным случаем как теории А, так и теории В. Иными словами, могут быть условия, когда верно только А, есть условия, когда верно только В, но есть условия, когда обе теории приводят к одинаковым выводам (теория С).

Принцип соответствия в биологии не позволяет надеяться на то, что такая ситуация реализуется для любых двух теорий — они вполне могут не иметь общих объектов как виды, которые давно разошлись. Однако в полном соответствии с картиной происхождения видов любые две теории должна соединять цепочка совместных теорий.

Современное состояние науки (и, в частности, той области ее, что на стыке биологии и математики) предопределяет необходимость аксиоматического анализа по крайней мере трех «ипостасей» — элементарных объектов, элементарных отношений и элементарных процессов.

Понятна и оправданная тоска по синтетическим построениям, однако несостоятельность их объясняется прежде всего односторонностью и недостаточностью предшествующего анализа.

Разберем с этих общих позиций содержание сборника.

В статье Б. М. Медникова проведен анализ границ применимости классической математической генетики. Ее основные по-

стулаты — постоянство, независимость и аддитивность действия генов — при переходе к более сложным объектам и более глубоким проблемам становятся весьма приближенными, а нередко и неверными. Несостоятелен, в частности, не только прямолинейный принцип «один ген — один признак», но и значительно более компромиссный «один ген — один фермент».

Статья В. В. Малахова посвящена сравнительной морфологии. Среди биологов (а также среди математиков) обычно считается, что морфология — истинно биологическая дисциплина, которой нет аналогов в других науках. Между тем аналогичные идеи и подходы развиты и в точном естествознании. Наиболее разработанный пример — теория внутреннего строения звезд. Знаменитая диаграмма Герцшпрунга — Рессела (соотношение масса — светимость) есть расположение популяции звезд в сравнительный морфологический ряд. Следующий шаг — попытка эволюционного истолкования этого ряда. Эксперименты над звездами невозможны пока даже в воображении, поэтому довольно быстро пришлось ставить вычислительные модельные эксперименты. Сопоставление результатов вычислений с экспериментальными данными привело к выводу, что далеко не всегда эволюция идет вдоль сравнительного морфологического ряда. Бывают ситуации, когда морфологический ряд — это шеренга параллельно развивающихся форм. Это полезный урок и для биологии тоже.

Еще одно любопытное замечание вытекает из рассмотренной аналогии. Оно касается проблемы «утраченного звена». На диаграмме «масса — светимость» имеются бросающиеся в глаза провалы. По-видимому, как раз эти пустоты имеют глубокий эволюционный (а не только морфологический) смысл и соответствуют быстрым стадиям эволюции. Имеются основания связывать их с интересными периодами колебательных стадий («цефеиды») и взрывных этапов («новые» и «сверхновые») в эволюции звезд.

В статье М. В. Мины анализируется понятие «вида» столь важное для любых эволюционных построений в биологии. Теоретическая и практическая необходимость уже давно свели вопрос о характеристике вида к вопросу о взаимодействии популяций, его составляющих, и в статье дискутируется главным образом вопрос о содержании понятия «популяция». Автор подчеркивает недостаточность и ограниченность существующих подходов — все они, как выразился бы физик, «квазистационарны». Между тем временные характеристики имеют большое значение не только теоретически, но и сугубо практически — настолько интенсивны в наше время ландшафтные перестройки, связанные с деятельностью человека.

Несколько особняком стоит статья А. С. Северцева «Эволюция механизмов захватывания пищи и дыхания амфибий». Ее содержание интересно для взаимодействия математики с биологией сразу по трем причинам. Во-первых, он дает пример

полнокровной биологической проблемы и не оставляет надежд на то, что современные худосочные математические модели, основанные на элементарных физико-химических или кибернетических представлениях, смогут заинтересовать биологов классического направления. Во-вторых, она демонстрирует иной подход к идее элементарности, к понятию «существенных переменных», когда пространственная «делимость», физическая «делимость» и прочие «неатомарности» отступают на второй план по сравнению с решающей функциональной неделимостью. Сразу же возникает интереснейший методический вопрос — можно ли и как (если можно) формализовать, математизировать подобные построения. Есть еще и «третий интерес», имеющий прямое отношение к «злобе дня» — интенсификация экологических процессов. Но тут лучше всего предоставить слово автору.

Особый интерес для математиков представляет «тандем» статей С. П. Маслова «Ограничение возможностей гомеостаза мультифункциональностью и главные пути его обхода» и А. С. Северцева «Функциональная дифференциация организма в ходе филогенеза». Главная мысль этих работ состоит в том, что эволюция вынудила практически все органы и системы работать не только по их прямому назначению, но выполнять множество иных обязанностей. Ясно, что это приводит к резкому падению эффективности. Однако в компенсацию одна и та же функция может выполняться разными способами. Это весьма любопытное положение, когда «все занимаются не своим делом», имеет, по-видимому, глубокий эволюционный смысл и, весьма вероятно, связано с принципиальной нелинейностью биологических систем. С точки зрения математика ситуацию можно попытаться представить себе (разумеется, весьма упрощенно и модельно) следующим образом. При слабых внешних воздействиях (в «комфортных» условиях) гомеостаз обеспечивается специализированными органами (если угодно, это и есть определение специализированности). Затем по мере усложнения обстановки — роста внешних нагрузок — требуется все большее и большее взаимодействие — «подстраховка» и, напротив, «распараллеливание» систем, что приводит к мощной перенастройке, наблюдаемой и в конкретном акте возбуждения, и в индивидуальном развитии, и в эволюционном плане.

Все возрастающий интерес математиков к точкам бифуркации, критическим режимам, сложной кинетике должен, рано или поздно, привести математику на «литораль». Это следует понимать как в переносном смысле — на границу математики и классической (качественной) биологии — так и в буквальном смысле этого слова — к поистине безграничным проблемам и задачам, которые возникают на литорали, в связи с литоралью и по поводу литорали.

Приглашение к сотрудничеству — вот главная цель школ по математическому моделированию биологических процессов.

Проф. А. М. Молчанов