

4. В ноябре 1917 г. В. И. Вернадский был вынужден бежать из Петрограда как член ЦК кадетской партии, объявленной большевиками вне закона, и как член Временного правительства, подписавший «Обращение» к гражданам, направленное против большевиков и передающее власть Учредительному собранию. (См.: Мочалов И. И. «...Ко всем гражданам Российской республики» // Огонек. 1991. № 21. С. 11–13.) Сначала он жил в Полтаве, а с июня 1918 г. по октябрь 1919 г. в Киеве, занимаясь организацией Украинской академии наук, первым президентом которой был выбран. Осенью 1919 г. в связи с наступлением Красной Армии уехал в Ростов, затем в Крым. С мая 1920 г. профессор, с сентября 1920 г. — ректор Таврического университета в Симферополе. В феврале 1921 г. В. И. Вернадский выехал из Крыма, в мае — возвратился в Петроград. (См.: Вернадский В. И. Дневники 1917–1921. Киев, 1994. Аксенов Г. П. Вернадский. М., 1994.)
5. Fondation L. Rosenthal — Фонд поощрения научных исследований, основанный французским промышленником Л. Розенталем. В июне 1924 г. комитет фонда отпустил В. И. Вернадскому не оговоренную никакими условиями стипендию на научные исследования. Более года ученый работал по этому гранту. В качестве отчета он представил в фонд работу «Живое вещество в биосфере», датированную ноябрем 1925 г., не публиковавшуюся при жизни В. И. Вернадского ни во французской, ни в русской литературе. Впервые напечатана: В. И. Вернадский. Живое вещество и биосфера. М., 1994.
6. Vernadsky V. I. Sur le nickel et le cobalt dans la biosphère / Compte rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences. Paris. 1922. Т. 175 P. 382–385; Vernadsky V. I. Sur le problème de la décomposition du kaolin par les organismes // Ibid. P. 450–452.
7. Труды Биогеохимической лаборатории. 1930. Вып. 1.

Публикация и примечания Г. П. Аксенова

Поиски, гипотезы, проекты

В. Н. ТУТУБАЛИН, Ю. М. БАРАБАШЕВА, А. А. ГРИГОРЯН, Г. Н. ДЕВЯТКОВА, Е. Г. УТЕР

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ В ЭКОЛОГИИ: ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗМЫШЛЕНИЕ*

От редакции

Наш журнал предлагает вниманию читателей историко-методологическое эссе, подготовленное группой сотрудников лаборатории системной экологии Московского государственного университета.

В 1965–1966 гг. под руководством Андрея Николаевича Колмогорова в МГУ была создана межфакультетская лаборатория статистических методов (на базе лаборатории при кафедре теории вероятностей). Одним из его заместителей стал Василий Васильевич Налимов — он заведовал отделом математической теории эксперимента. В 1975 г. в связи с реорганизацией этот отдел перешел на биологический факультет: сначала на кафедру гидробиологии, а затем — зоологии позвоночных, где вскоре был преобразован в лабораторию системной экологии. В настоящее время ее возглавляет д. б. н., профессор Виктор Николаевич Максимов. Лаборатория занимается применением математических методов в различных областях биологии, особенно в экологии.

Активно работающие ученые в непринужденной форме рассказывают о попытках внедрения математических методов в эту научную область, где это представляет весьма значительные трудности, а результаты — далеко не всегда обнадеживают... Авторы пытались прежде всего осмыслить свой собственный, живой опыт, опираясь на известные им концепции современной философии науки. В этом плане работа интересна и как философско-методологическое обобщение (с которым, очевидно, не каждый согласится), и как историческое свидетельство о жизни научной лаборатории конца XX в. Это — своего рода романтическое повествование о путях исследований, которые пока еще неизвестно куда приведут.

Современная экология широко использует разнообразные математические модели и методы, в частности метод дифференциальных уравнений, первоначально разработанный в процессе взаимодействия физики и математики. Это использование закрепилось настолько, что в любом учебнике по экологии имеется раздел (или разделы), посвященный дифференциальным моделям (см., например, [1, 2]). Однако чтение подобного раздела оставляет у читателя, воспитанного на физико-математических образцах, странное ощущение. Там не найдешь ярких примеров соответствия экспериментальных данных той или иной модели дифференциальных уравнений (за исключением одновидовых популяций). Взамен читателю обе-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (код проекта 97-03-04095а).

щают, что в принципе возможно построение более адекватной модели, либо вообще результаты применения модели излагаются без достаточно определенной оценки согласованности модели и эксперимента.

При всем внешнем сходстве с дифференциальными моделями в физике, дифференциальные модели в экологии строятся на другой основе (других основаниях, предположениях, допущениях) и по-другому соотносятся с экспериментальными данными, — т. е. они имеют другой методологический статус. Аналогичная ситуация характерна и для других типов моделей в экологии.

Каковы же причины различия математического моделирования в экологии и в физике при одинаковости «внешнего вида» предлагаемых моделей? Как исторически развивалось применение математических методов в экологии и каковы основные этапы этого развития? По всей видимости, ответы на эти вопросы должны весьма отличаться от тех, которые предлагаются применительно к математическим моделям в физике (см. [3, 4]). И если это действительно так, то расхожее представление о «каноничности» математического моделирования в физике, о том, что все науки следуют за физикой в применении математических средств, проходят те же этапы, — неверно.

В данной статье предпринята попытка выявить исторические этапы и методологические основания применения дифференциальных моделей в экологии. В результате показано, во-первых, что исторически этот процесс прошел три этапа в своем развитии: этап «пророков», предрекавших успех такому применению и создавших модели, которые впоследствии, впрочем, оказались неадекватными эмпирическим данным; этап «апостолов», которые считали возможным (а может быть, просто «верили» в необходимость) подогнать экспериментальные данные к модельному виду; этап «приходских священников» — практиков, пытающихся извлечь практическую пользу в этой безнадежной, с точки зрения физической парадигмы, ситуации. А во-вторых, и это главное, показано, что здесь нельзя говорить об адекватности модели в том смысле, в каком это слово понимает образованный человек, воспитанный на физических примерах. Тем не менее идея применения дифференциальных уравнений в экологическом моделировании привела, по нашему мнению, к некоторому нетривиальному развитию экспериментальных исследований, результаты которых, в свою очередь, стали теоретическими предпосылками подхода к ряду чисто практических вопросов.

Каким же образом математическая модель может быть практически полезной, не будучи адекватной? В этом и состоит главный вопрос, который, как нам кажется, инициирован практикой создания и применения дифференциальных моделей в экологии. Полезность при отсутствии адекватности довольно странна для общераспространенной философии науки и никогда не рассматривалась в работах по истории и методологии прикладной математики. Постараемся восполнить этот пробел.

1. «Пророки», «апостолы» и «приходские священники» в науке

Как в науке, так и в любой другой области человек не может действовать, не имея некоторой общей модели ситуации, в которой он находится. В принципе, человек волен и придумывать, и использовать любые модели некоторой ситуации, но не каждая модель имеет шансы на дальнейшее существование. Во-первых, она должна быть полезной (необязательно в практическом смысле). Во-вторых, модель не может оставаться собственностью одного человека; она либо признается другими людьми, имеющими дело с аналогичной ситуацией, либо отвергается

ими, что, как правило, приводит впоследствии к отказу самого создателя модели от своего «детища». Социальные механизмы признания научных моделей (новых подходов в той или иной области научного познания), перехода от одних моделей к другим наиболее четко описаны в таких классических концепциях развития науки, как концепции Т. Куна, И. Лакатоса, Л. Лаудана, С. Тулмина [5–8]. В этих концепциях рассматривается иерархическое строение научного сообщества, обеспечивающее признание приоритета в изобретении нового знания и сообщающее одним членам сообщества больший по сравнению с другими авторитет; описывается становление эффективных исследовательских стратегий и их сдвиг; вскрывается наличие неявного знания, не эксплицированного в модельных описаниях, и т. д. Тем не менее указанные классические концепции развития науки не обращают достаточного внимания на следующие общие черты, характеризующие возникновение и профессиональное признание новых научных подходов*.

1. Новый подход берется непонятно откуда в том смысле, что не имеет достаточного обоснования. Эту особенность возникновения новых подходов в науке можно назвать «теологической»** или доктринальной: всякая доктрина появляется как откровение свыше, и при изложении модели факты оказываются как бы ни при чем.

2. По мере развития области знания, а иногда и сразу, становится ясным, что предлагаемый подход неточен и, быть может, даже неверен. В «классических» концепциях развития науки считается, что научное сообщество этого не понимает. Тем самым научному сообществу приписывается простодушие, хотя в действительности мотивы поведения членов сообщества более сложны.

3. Несмотря на то что научный подход неверен, иногда он не может быть изменен, поскольку остается непонятным, чем его заменить.

Говоря другими словами, возникновение и эволюция научных подходов или направлений в областях научного познания с социальной точки зрения аналогичны возникновению и эволюции теологических доктрин. За «фасадом» логики и академической беспристрастности скрываются хорошо знакомые из истории фигуры *пророка*, или мессии, т. е. основателя учения; *апостола*, т. е. ученика и пропагандиста учения; и, наконец, *приходского священника*, который доносит до масс благо учения. Вопрос о сущности учения решается на уровне пророка и апостола, но вопрос о его полезности — на уровне приходского священника.

В данной работе мы конкретно рассмотрим судьбу одного научного подхода — применение дифференциальных уравнений в экологии. Этот подход обладает всеми признаками теологической доктрины, которая может быть названа «теологией дифференциальных уравнений в экологии». Рассмотрим подробнее, какие ученые были «пророками», «апостолами» и «приходскими священниками» данного «учения», в чем заключались их действия и мотивы этих действий.

2. Пророки (А. Лотка и В. Вольтерра)

В XIX в. рассматривались дифференциальные модели роста одновидовой популяции; они привели к моделям экспоненциального и логистического роста, из которых последняя привлекла особое внимание в начале XX в., сделавшись предме-

* Сопоставление с работами П. Фейерабенда мы откладываем до заключения статьи (п. 5).

** В том отрицательном смысле слова «теология», в каком оно употреблялось во времена русских разночинцев, для которых главной задачей был протест против официальной идеологии.

том оживленной полемики. Но для экологии одновидовая популяция — проблема слишком узкая, и особое значение придается работам А. Лотки [9] и В. Вольтерра [10], в которых впервые появляются системы уравнений, относящиеся к одновидовым сообществам.

Как известно, ортодоксальное христианское вероисповедание формально отличается от арианской ереси главным образом тем, что признает Сына «единосущным» Отцу, в то время как ариане считают его лишь «подобносущным». В греческом языке написание этих двух слов различается лишь буквой «йота» (откуда и пошло выражение «не уступить ни на йоту»). В математической записи модели дифференциального уравнения также возможны некоторые, на первый взгляд, незначительные вариации. Но на самом деле эти небольшие различия в математических символах имеют принципиальное значение, и лишь один вариант (тот самый, который использовали Лотка и Вольтерра) интересен и ведет к нетривиальному развитию науки, а другие — бесполезны. В пятой главе знаменитой монографии [9] сказано, что «вряд ли можно руководствоваться чем-то лучшим», чем уравнение

$$\frac{dN_i}{dt} = F_i(N_1, \dots, N_n; P, Q), \quad (1)$$

где N_i могут, в частности, означать численности (либо биомассы) особей i -го вида, F_i — более или менее произвольные функции, а P и Q — наборы значений каких-то параметров. Ключевой вопрос состоит в том, зависят ли от времени P и Q . Если $P = P(t)$ и $Q = Q(t)$ — более или менее произвольные функции времени, то правая часть (1) ничем не лучше, чем $G_i(t)$ — произвольная функция времени. Тогда

система уравнений (1) переписывается в виде $\frac{dN_i}{dt} = G_i(t)$, но такая модель ничего не стоит, так как в ней сказано лишь то, что скорость роста является произвольной функцией времени. Такая модель объясняет что угодно и потому бесполезна. Лотка правильно предлагает считать P и Q постоянными во времени (либо меняющимися достаточно медленно). Но постоянные P и Q по законам математического языка можно просто убрать из правой части (1), и тогда получается модель

$$\frac{dN_i}{dt} = F(N_i, \dots, N_n) \quad (2)$$

Уравнение (2) является, наоборот, чрезвычайно содержательным. В нем сказано, что скорости роста не зависят ни от чего, кроме значений $N_i = N_i(t)$. Неужели для биологического сообщества скорости изменения численностей составляющих его видов вполне определяются численностями этих видов и не зависят от факторов среды (температуры, влажности, солнечной радиации, количества пищи и т. д.)? Возможны три подхода при ответе на этот вопрос: 1) верую, потому что нелепо; 2) расширение фазового пространства, т. е. включение в список переменных также и факторов среды; 3) сужение области применимости модели (2); например, можно предположить, что модель (2) достаточно точно действует в тщательно стабилизированном лабораторном «микрокосмосе», где факторы среды не меняются.

Сам Лотка, как кажется, в основном держался первого подхода. Второй вариант ответа ведет к тому, что ныне известно как «моделирование» биологических систем (здесь мы не будем затрагивать это направление). Третий вариант порождает многочисленные лабораторные исследования, начавшиеся работами Г. Ф. Гаузе, которых мы коснемся в дальнейшем.

Математическое мышление А. Лотки для нашего века несколько старомодно: он верует в разложение в ряды Тейлора. Но он умеет вовремя оборвать это заня-

тие — раньше, чем оно потеряет смысл, и приходит к ряду моделей, которым, как оказалось, суждена долгая жизнь. Но чтобы показать, что речь идет о чистой теологии, мы процитируем здесь то, что никто не цитирует — последнюю, 34-ю главу книги А. Лотки: «Заключение — ретроспектива и перспектива».

Беспристрастный судья, если б такого можно было себе представить (пишет А. Лотка), признал бы, что человек победил все прочие биологические виды, но на первый план вышла борьба с его собственным видом. Человечество в целом борется с враждебными силами, а индивид — со своими товарищами. Цель индивида — купить себе возможно менее невыносимую форму зависимости от общества. Мотивация, которая движет социальное целое, не подверглась реорганизации, а остается делом индивида. Если в сообществах насекомых успешно действуют инстинкты, то у человека с этим плохо — слишком разнообразны возможные формы человеческой деятельности. Но мы все-таки не полностью лишены надежды на грядущую эволюцию нашей расы (под расой здесь Лотка понимает человечество в целом). В заключение дадим точную цитату: «...эволюция как будто перешла черту, раса должна до некоторой степени вернуться по своим следам и вновь приобрести нечто от того внеличного сознания, которое сейчас кажется лишь случайным достоинством немногих...»

В отличие от книги А. Лотки, математический уровень книги В. Вольтерра [10] (перевод с французского издания 1931 г.) весьма высок. В. Вольтерра был одним из искуснейших математиков XX в. Но область интересов и круг понимания любого, самого выдающегося человека непременно ограничены. В частности, те способы, которыми В. Вольтерра обращается с фактическими данными, вызывают недоумение у всякого, кто представляет себе, что такое статистическая обработка. Фактических данных в книге [10] немного: во введении к книге приводится таблица данных, собранных Д'Анкона, которые касаются доли хрящевых рыб в общих уловах рыбы по нескольким портам Италии. Из 45 возможных позиций в этой таблице (15 лет, 3 порта) в 16 позициях данные вообще отсутствуют. Описание методики получения данных в основном тексте не приводится, но в заключении книги указано, что данные собирались на рыбных базах, и не вполне понятно, насколько они представительны по отношению к общим уловам рыбы. Вывод, который желательно сделать из этой таблицы, состоит в том, что в результате сокращения отлова рыбы во время первой мировой войны доля хрящевых (хищных) рыб возросла. Этот вывод важен, потому что (как оказывается в дальнейшем) модель «хищник — жертва» предсказывает уменьшение пропорции хищника, если предположить, что хищники и жертвы дополнительно уничтожаются (путем вылова) с одинаковой интенсивностью. Но неполнота данных и несколько несинхронное изменение для разных портов тех данных, которые все-таки имеются, не позволяют сделать обоснованный вывод о динамике доли хрящевых рыб. Кроме того, непонятно, почему хищники и жертвы уничтожались ловом рыбы в равных долях. В заключении книги, где выводы Д'Анкона описываются более подробно, говорится, что хищные виды менее защищены от вылова. Таким образом, сколько-нибудь весомое подтверждение теоретической модели наблюдениями в книге [10] отсутствует. Вольтерра фактически ограничивает задачу написанием и математическим исследованием уравнений для динамики численностей видов, отмечая, что он оставляет другим исследователям проверку полученных результатов «...на основе экспериментов, наблюдений и их статистической обработки».

Основные свои усилия В. Вольтерра направляет на многовидовые модели. Но с фактическим материалом при дальнейшем развитии науки сопоставлялись, по видимому, лишь модели с двумя видами, а это примерно те же модели, что и у

А. Лотки. Поэтому преимущества несравненно более высокого математического уровня В. Вольтерра остались, как кажется, без достаточно ощутимых последствий. Из послесловия Ю. М. Свиричева к книге [10] можно вынести впечатление, что да, конечно, более сложные модели Вольтерра привлекли внимание и получили развитие у последующих поколений, но развитие чисто схоластическое: ни о каких сопоставлениях с реально наблюдаемыми фактами Ю. М. Свиричев не сообщает. В конце концов, это ведь вполне естественно: теология может и должна развиваться в схоластическом плане.

3. Апостолы (Г. Ф. Гаузе и другие исследователи)

Модель дифференциальных уравнений оказала большое влияние на дальнейшее развитие науки. В частности, очень много работ было сделано в лабораторных условиях с целью наблюдать те или иные эффекты, предсказываемые этой моделью. Но для критического анализа можно выбрать лишь очень немногие исследования, удовлетворяющие элементарным требованиям. Необходимо, чтобы автор явно указал, какие именно уравнения он считает моделью изучаемых процессов, и идентифицировал параметры уравнений. Весьма желательно также, чтобы полученные результаты были приведены в виде таблиц, а не только лишь графиков, с которых не всегда надежно можно считывать числа. В результате получилось, что из известных нам работ для критического анализа мы могли взять лишь работы Г. Ф. Гаузе, а из них мы выбрали [11] и [12], содержащие один и тот же числовой материал. Следует отметить, что объем фактического материала, представленного здесь, весьма велик и соответствует по крайней мере нескольким работам более поздних исследователей.

Г. Ф. Гаузе рассматривает двухвидовые популяции инфузорий для двух биологически принципиально различных случаев: а) конкуренция, б) «хищник–жертва». В обоих случаях Гаузе вдохновляется соответствующими моделями Лотки–Вольтерра (делая некоторые разумные обобщения). Однако опыты с хищниками и жертвами не дали ничего похожего на предсказываемую теорией картину циклических колебаний численностей двух видов, и здесь Гаузе сам дезавуирует математическую модель (применительно к своим экспериментальным данным). Поэтому мы рассматриваем лишь опыты с конкуренцией двух видов. Если отношения видов типа «хищник—жертва» не нуждаются в каком-то математическом определении, то с конкуренцией дело обстоит не так: затруднительно сказать, что такое конкуренция двух видов, иначе как в форме

$$\frac{dN_i}{dt} = f_i(N_1, N_2), i = 1, 2$$

где $N_i = N_i(t)$ — численность i -го вида. В этой формуле подчеркивается, что скорость роста $\frac{dN_i}{dt}$ зависит не только от N_1 , но и от N_2 , причем подразумевается, что функция $f_i(N_1, N_2)$ убывает с возрастанием N_2 (аналогично для второго вида). Конкретно система уравнений конкуренции в работах Гаузе записывается в виде

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= b_1 N_1 \frac{K_1 - (N_1 + \beta N_2)}{K_1 - m N_1} \\ \frac{dN_2}{dt} &= b_2 N_2 \frac{K_2 - (N_2 + \alpha N_1)}{K_2 - m N_2} \end{aligned} \quad (3)$$

где первые слагаемые в правых частях получаются путем обобщения уравнения логистического роста, а второе отражает периодическое изъятие определенной доли m микрокосма, которое делалось для подсчета численностей видов.

Сначала Гаузе проводит теоретический анализ системы (3) (согласно устным свидетельствам, в этом ему помогал довольно известный физик и математик А. А. Витт, погибший во время Большого террора). Этот анализ повторяют все учебники экологии: рассматриваются изоклины $\frac{dN_1}{dt} = 0$ и $\frac{dN_2}{dt} = 0$, которые на фазовой плоскости $\{(N_1, N_2): N_1 \geq 0, N_2 \geq 0\}$ представляют собой отрезки прямых. В зависимости от возможного расположения этих отрезков однозначно определяется качественная картина решений системы (3): либо один из видов в конце концов вытесняет другой, либо численности видов стремятся к некоторым постоянным положительным значениям. Вторая ситуация возможна только при соблюдении некоторых неравенств между параметрами $b_1, b_2, K_1, K_2, \alpha, \beta$ и, по Гаузе, в природных условиях представляется маловероятной.

Работы Гаузе (благодаря вовремя изданным за границей переводам) получили большую известность. В частности, скромное (в оригинале) заключение о маловероятности сосуществования двух конкурирующих видов теперь называется «теоремой Гаузе» или «законом конкурентного вытеснения Гаузе» (хотя ни о теореме, ни о законе в оригинале речь не идет). Результаты Гаузе неоднократно анализировались в литературе (см., например, [13]). Изложенный теоретический анализ у Гаузе совершенно правилен, и независимо от того, сам Гаузе или какой-то профессиональный математик впервые выполнил этот анализ, очевидно, что автор работы вполне владеет излагаемым материалом.

Тем ужаснее представляются ошибки, которые делает Гаузе при численном анализе данных своих же экспериментов. Гаузе, видимо, не понимал достаточно отчетливо, что дифференциальное уравнение не просто задает качественную картину поведения траекторий, но и является точным количественным выражением скорости движения по этим траекториям. Во времена Гаузе вполне возможным было численное решение системы (3), следовательно, и его количественное сопоставление с экспериментальными данными. Но таких попыток Гаузе не делает, почему и не замечает ряда абсурдных несоответствий.

Математические формулы (3) говорят очень много. Например, полагая $N_1 = 0$ (или $N_2 = 0$), получаем модель логистического роста популяции. Это означает, что параметры b_1, K_1, b_2, K_2 можно определить по данным роста одновидовых популяций. Соответствующая методика во времена Гаузе была отлично известна (напомним, что логистическая модель была чрезвычайно популярной). Однако Гаузе ухитрился примерно втрое занижить скорости экспоненциального роста b_1 и b_2 .

Параметр m в уравнениях (3) известен (определяется методикой подсчета численностей). Параметры α и β (при известных b_i, K_i) определяются по численностям, к которым (теоретически) приближаются $N_1(t)$ и $N_2(t)$ при возрастании t . (Правда, в опытах Гаузе эти численности не стабилизируются.) Конечно, если значения b_1 и b_2 втрое занижены, то численное решение системы (3) не даст ничего похожего на данные экспериментов, что заметил бы и сам Гаузе (как и читатели его книг, изданных за рубежом), стоило только попытаться начать численно решать систему (3).

Благодаря компьютерной технике возможности численной обработки данных сейчас стали неизмеримо выше, чем во времена Гаузе. Мы попытались, сохраняя вид модели (3), так подобрать значения параметров, чтобы траектории системы (3)

были похожи на данные Гаузе (сохраняя, однако, данные Гаузе значения α и β). Результат отрицательный: например, наблюдаемые Гаузе предельные численности одного из видов вдвое превышают их значения, даваемые решением системы (3).

Апостол, как известно, субъективно честен, но делает все возможное, чтобы закрыть глаза на факты, противоречащие чистоте пророческого учения. Гаузе исследует применимость модели (3) путем создания взаимоотношений между начальными численностями $N_1(0)$ и $N_2(0)$. Он представляет результаты в табличной и графической форме, пытаясь на графиках увидеть гладкое поведение траекторий системы дифференциальных уравнений. Проверка показывает, что табличные и графические данные не соответствуют друг другу: Гаузе просто выбирал из своих экспериментальных данных те, которые ему больше нравились. (Однако само приведение данных как в табличной, так и в графической форме полностью снимает с обсуждения вопрос о субъективной недобросовестности: апостол субъективно честен.) Каковы же те гладкие кривые, которые пытался увидеть Гаузе? Теоретически они должны быть траекториями системы (3), но при грубых ошибках в определении параметров эти траектории никак не могут походить на экспериментальные данные. Гаузе рисовал какие-нибудь гладкие кривые настолько произвольно, что некоторые из них пересекаются, чего, как само собой понятно, на фазовой плоскости быть не может.

После критического рассмотрения данных Гаузе становится ясным, что должен рассматриваться не вопрос о соответствии их данной системе (3), а принципиальный теологический вопрос о возможности написать вместо системы (1) систему (2), т.е. описываются ли данные какой-нибудь системой дифференциальных уравнений, правые части которой зависят лишь от N_1 и N_2 . Насколько нам известно, повторные рассмотрения данных Гаузе не были достаточно критичными, но наука, следуя (как объект коллективного творчества) своими неисповедимыми путями, этот вопрос поставила и как бы между делом решила отрицательно. Главным же вопросом для экспериментаторов после Гаузе был не вопрос о дифференциальных уравнениях, а о том, чтобы хоть как-нибудь воспроизвести в эксперименте те циклические колебания, которые предсказываются моделью «хищник-жертва». Эти колебания должны быть обязаны лишь взаимодействию между видами двухвидовой популяции, но не изменению внешних условий, которые экспериментатор стремится поддерживать постоянными. Одним из знаменитых экспериментов такого рода является эксперимент С. Утида [14], в котором в течение длительного времени поддерживались колебания численности зерновки и ее паразита. Амплитуда этих колебаний то возрастала, то убывала. Нанеся численности $N_1(t)$ и $N_2(t)$, $t=1,2,\dots$ на фазовую плоскость, автор приходит к выводу, что ситуация не может быть описана никакой системой дифференциальных уравнений вида (2). По-видимому, что-то периодически меняется в изучаемой системе, кроме численностей N_1 и N_2 , однако ни в работе [14], ни в других известных нам работах не делается попыток выяснить, что именно изменяется в, казалось бы, неизменных обстоятельствах лабораторного опыта.

Таким образом, насколько можно судить, ни для каких лабораторных (ни тем более природных) систем, состоящих более чем из одного вида, не получено сколько-нибудь адекватного описания динамики численностей видов с помощью модели дифференциальных уравнений. Следует ли из этого, что эта модель бесполезна для науки и практики?

4. Приходский священник

Задача приходского священника состоит в том, чтобы помочь своей пастве достойно прожить жизнь, борясь с теми или иными жизненными трудностями. Обычно такие священники не пишут книг или научных статей о своей работе, и в анализе их деятельности приходится опираться на исключения. Мы опираемся на такой ценный документ, каким является книга Г. А. Викторова [15], из самого заглавия которой видно, что при занятиях некоторой важной практической проблемой автор имел также склонность к теоретическим обобщениям. Что же из учения пророков и апостолов оказывается важным на практике? Обратимся к анализу книги [15]. Автор (в основном в 1956–1962 гг.) исследовал динамику численности вредной черепашки *Eurygaster integriceps*. Рост посевных площадей под пшеницей и смена мелких полей единоличных хозяйств огромными массивами привели к тому, что из вредителя, который прежде бывал многочисленным лишь в отдельные годы, она превратилась в хронического вредителя. В некоторых случаях клопы настолько размножаются на том или ином поле, что уничтожают урожай пшеницы, им начинает не хватать пищи, и они вынуждены перелетать на соседние поля. Определенные надежды возлагались на раздельную уборку, но они не оправдались. Для снижения численности черепашки можно было бы чередовать посевы пшеницы и озимого ячменя, но по экономическим соображениям это невозможно. Не остается ничего, кроме химической войны с применением различных инсектицидов (опасность такой войны для животных и человека не была достаточно осознана в 50–60-е гг.). Г. А. Викторов показывает, что химическая война приводит к подавлению энтомофагов, в частности яйцеедов — паразитов вредной черепашки, которые могли бы, в принципе, ограничивать ее численность. Он пропагандирует более глубокий экологический подход, в частности, применение такой тактики химической борьбы, которая бы в меньшей степени затрагивала энтомофагов. Какова же роль модели дифференциальных уравнений в разработке и обосновании выводов Г. А. Викторова?

Дело в том, что Викторова (в роли, так сказать, практически работающего священника) мало волнуют теологические тонкости типа той, какими именно математическими символами записывается модель дифференциальных уравнений. Его мало волнуют также трудности апостольской пропаганды, связанные с тем, что модель дифференциальных уравнений оказывается ни на что не годной в смысле количественного описания данных эксперимента (тогда как апостол в лице Г. Ф. Гаузе делает все, чтобы закрыть глаза на этот неприятный факт). Но для Г. А. Викторова важно (см. [15, с. 8–16]), что в биологических системах возможны взаимно обусловленные колебания численностей различных видов. Он упоминает работы Гаузе, Утиды и многих других авторов, совокупность которых вполне надежно доказывает, что данное явление возможно. Хотя взаимно обусловленные колебания численности не описываются моделью дифференциальных уравнений, нельзя сомневаться в том, что именно теологическое творение Лотки–Вольтерра вызвало к жизни экспериментальные исследования Гаузе, которые в свою очередь инспирировали последующие работы. Представление о взаимном ограничении численностей видов в экосистеме, обоснованное всеми этими работами, является теологическим фундаментом, без которого не были бы возможны работы Г. А. Викторова. Наоборот, опираясь на такой фундамент, весьма естественно поинтересоваться ролью паразитов в регуляции численности вредной черепашки и провести ценные и кропотливые исследования в этом направлении. Конечно, для количественной оценки подавления энтомофагов в процессе химической

войны против вредной черепашки и окончательного заключения о том, к чему приведет эта война (т. е. к снижению или росту численности черепашки в конечном итоге), было бы очень хорошо иметь количественную модель. Но это, однако, невозможно (Викторов и не пытался создать что-то подобное). Хорошо уже то, что внимание привлекается к еще одному потенциально вредному аспекту химической войны против насекомых.

5. Заключение

Представляет значительный интерес сопоставление выводов, которые кажутся важными авторам настоящей работы, со взглядами П. Фейерабенда [16]. Близость основного метода в данной работе и у П. Фейерабенда отрицать невозможно и не нужно — это детальное обсуждение достоинств и недостатков тех или иных конкретных научных исследований, сыгравших существенную роль в развитии той или иной научной области. Однако наши выводы совершенно лишены той характерной для П. Фейерабенда агрессивности по отношению, главным образом, к методологии науки и отчасти к науке вообще. Дело заключается, прежде всего, в историческом изменении взглядов за те 20 с лишним лет, которые прошли со времени публикации основных работ П. Фейерабенда (например, работы «Против методологического принуждения» из сборника [16]). Жизнь человеческая, к сожалению, коротка, а жизнь научная (т. е. время активной жизни в науке) и того короче. В этом смысле можно сказать, что со времени появления упомянутой работы появилось новое поколение ученых. Доказывать в настоящее время, что наука, в общем-то, принципиально ничем не лучше и не хуже, чем другие формы духовной деятельности, например религия, — означало бы ломиться в открытую дверь. Так и воспринимаются сейчас многие пассажи такого пламенного писателя, каким в философии науки остается П. Фейерабенд, — что, возможно, и является наивысшим признанием заслуг ученого: высказанные им идеи становятся общим местом.

Использованная в настоящей статье метафора, основанная на том наблюдении, что такие, казалось бы, различные формы духовной деятельности, как наука и религия, проходят чем-то похожий путь исторического развития, нам представляется любопытной, но ни для кого не обидной. Мы совершенно согласны с тем, что приходский священник, который крестит новорожденных, венчает молодежь, исповедует умирающих, может для многих людей сделать менее невыносимыми те жизненные невзгоды, которые выпадают на их долю. Просто тот исторический путь, который проходят религии от своего возникновения до превращения в массово признаваемые учения, хорошо известен, и его можно использовать как метафору для исторического пути науки.

П. Фейерабенд вкладывает немало ехидства в сопоставление развития некоторых эпизодов развития современной физики с формами мышления, которые представляются грубыми и примитивными. Например, работы Дж. фон Неймана в области квантовой механики он сопоставляет с системой колдовства племени нупе, характерной особенностью которого «...является контраст между претенциозной теоретической структурой и примитивным неряшливым применением этой структуры на практике» [16, с. 196–197]. Мы же не видим, почему такое наблюдение должно считаться ехидным: речь идет о сходстве на уровне глубинной человеческой психологии, которая одинакова у современного интеллектуала и главного колдуня племени нупе.

Конечно, главный научный и методологический вопрос заключается в том, каким образом должна применяться математика в биологии и, в частности, — в

экологии. В своих методологических работах П. Фейерабенд ориентируется в основном на физику. Физика и математика развивались вместе, так что ученое звание «доктор физико-математических наук» не пустое словосочетание, хотя доктор за математические заслуги может не знать, что такое запаздывающие нейтроны в ядерном реакторе, а доктор за физические заслуги — что такое трансфинитные числа. Тем не менее физика и математика настолько едины, что вопрос об их взаимодействии достаточно ясен. В данной работе сказано еще раз, что в биологии бесперспективно применение математики по образцу физики. С другой стороны, биология, а экология в особенности, стремятся к тому, чтобы быть количественными науками (огромное количество подсчетов обилия тех или иных особей совершенно обычное дело для биологии). Понятно, что в таком случае без применения математики обойтись нельзя. Несомненно также, что нельзя будет отделаться сравнительно примитивными применениями математической статистики для решения метрологических вопросов.

Компьютерное моделирование биологических систем, кажется, обмануло возлагавшиеся на него надежды. В настоящее время мы не можем серьезно пытаться ответить на вопрос, какой будет (или должна быть) адекватная биологическая математика, и хотим лишь обратить внимание на некоторые общие формы исторического развития.

Список литературы

1. Федоров В. Д., Гильманов Т. Г. Экология. М., 1980.
2. Гиляров А. М. Популяционная экология. М., 1990.
3. Алексеев И. С. Деятельностная концепция познания и реальности. М., 1995. С. 9–42.
4. Алексеев И. С. Этапы и закономерности математизации // Математические науки: предпосылки, проблемы, перспективы. М., 1986.
5. Кун Т. Структура научных революций. М., 1975.
6. Лакатос И. История науки и ее рациональные реконструкции // Структура и развитие науки. М., 1975.
7. Laudan L. Science and Hypothesis. Dordrecht, 1981.
8. Тулмин С. Человеческое понимание. М., 1984.
9. Lotka A. J. Elements of physical biology. Baltimore, 1925.
10. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М., 1976.
11. Гаузе Г. Ф. Исследование над борьбой за существование в смешанных популяциях // Зоол. журн. 1935. Т. 14. Вып 2. С. 243–270.
12. Gause G. F. Vérifications expérimentales de la théorie mathématique de la lutte pour la vie. P., 1935.
13. Уильямсон М. Анализ биологических популяций. М., 1975.
14. Utida S. Cyclic fluctuations of population density intrinsic to the host-parasite system // Ecology. 1957. Vol. 38. № 3. P. 442–449.
15. Викторов Г. А. Проблемы динамики численности насекомых на примере вредной черепашки. М., 1967.
16. Фейерабенд П. Избранные труды по методологии науки. М., 1986.