

Александр Николаевич Горбань
Рем Григорьевич Хлебопрос

**ДЕМОН ДАРВИНА.
ИДЕЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ
И ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР**

Москва: Наука (гл. ред. физ.-мат. литературы), 1988

Электронная версия
Красноярск, 1998

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ: МИФ О МОДЕЛИРОВАНИИ

ПЕРВЫЙ ШАГ. Естественное и искусственное. Мир Эпиметея. У кого больше потомков - у мухи или у слона? Единая мера совершенства. Застывшая история. Царство матемазавров. Две ветви теории эволюции: возможен ли синтез? Проект читателя. Искусство сомневаться. Сомнения в принятом центральном тезисе. Вид с высоты, его достоинства и недостатки.

УГОЛ ЗРЕНИЯ. Отделение смысла от бессмыслицы. Теория - модель - объект. Теория Дарвина и динамические модели Ньютона. Закон шага и закон цели. Эволюционные сценарии в физике и биологии. Достаточны ли первые принципы? Теория или метод? Вложение возможных миров. Логическое всеведение. Неосуществимые программы дают полезные результаты. Определение как автопортрет. Проблема синтеза.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ. Восемь разновидностей моделей. Парадоксы и презумпция осмысленности. Незавершенные миры развивающейся физики. Рамка для неизвестных возможностей и в ней - Чебурашка. Простота без упрощений. Мысленный эксперимент - столкновение знаний. Имитационные модели. Две функции моделей: соответствие объектам и смыслообразование. Эффект зайца. Неужели физику легче, чем биологу? Проект двух следующих шагов.

МОДЕЛЬ ДАРВИНА. Дарвинизм - картина мира в биологии. Биосфера и ее генотень. Проблема организма. Трехединая среда. Расстояние между генотипами. Иерархичность генотени. Радиус скрещивания и брачные предпочтения у дрозофилы. Динамическое объяснение иерархичности. Проблемы происхождения высших таксонов. Восстановление истории и вымирание динозавров. Сама модель. Что иерархично?

ОТБОР ПО ПРИЗНАКУ. Краб из Плимутской бухты. Цвет бабочки и промышленная революция. Запрограммированные случайности в фенотипе. Легенда о скромном хищнике. Парадокс выгоды. Решающий эксперимент по внедрению. Три типа устойчивости и оптимальности. Смысл "пользы". Альтруизм и динамика меток "свой - чужой". Проблема пола. Таинственные законы корреляции. Модели и реальность.

ДЕМОН МЕНДЕЛЯ-ИОГАННСЕНА. Открытие и переоткрытие. Развертывание простых моделей. Хромосома, локус, аллель и ген. Половое размножение и гены-грубияны. Размножение и отбор генов. Геноценоз как биоценоз и биоценоз как геноценоз. Благо рецессивности.

НАСЛЕДОВАНИЕ. Идея инварианта. Встречные пути. Четыре подразделения клеточной ДНК. Генетический ламаркизм. Единицы воспроизводства. Динамическая последовательность. Единицы функции. Способности и поведение. Плата за функцию. Обобщенный генотип. От

наследуемых единиц к биосфере и обратно. Коэффициент размножения без предков и потомков. Сооптимальность и совершенство. Гены, полученные не от родителей. Где же организмы? Наследование без организмов - попытка определения.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ. Изменение и разнообразие. Проблема нейтральных мутаций. Мозаичность условий и волны жизни. Релятивизация наследуемых единиц, шаг первый. Эволюция, безразличная к деталям изменчивости. Направленные и ненаправленные изменения.

Релятивизация, шаг второй. Эволюция изменчивости.

ГДЕ ЖЕ ГЛАВНАЯ МОДЕЛЬ?

КОММЕНТАРИИ К СПИСКУ ЛИТЕРАТУРЫ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПРЕДИСЛОВИЕ: МИФ О МОДЕЛИРОВАНИИ

“Только кончив задуманное сочинение, мы уясняем себе, с чего нам следовало бы начать”.

Блез Паскаль

Метод моделирования проникает ныне во все науки и не видно конца его экспансии. Каждый успех рождает легионы попыток, и тысячи дипломированных молодых людей отправляются под знаменами моделирования на захват новых областей.

Победителей не судят, но это не означает, что они всегда правы. Время рассудит всех и назовет какие-то успехи истинными, какие-то - мнимыми, а след большинства сотрется.

Отыскивая в прошлом истоки моделирования, мы приходим к мифам. Мифы - первые модели. Человек мысленно населял природу сверхъестественными, как мы теперь говорим, существами, снабжал их характерами и судьбами, влечениями и возможностями. Достигал он этим, в частности, двух целей: явления природы становились более понятными и как-то предсказуемыми.

Обслуживание понимания, обеспечение понятности и создание предсказаний - эти функции остались и у современных моделей.

Моделирование как проникновение в сущность, познание души объекта... Из столкновения этой идеализации с нынешней практикой рождается миф о моделировании.

Было некогда зеркало, в котором отражалась суть вещей. Моложе Вселенной оно было или старше - никто не знает. Но вышел и для него срок. То ли от сказанного слова, то ли из-за отразившегося знака разлетелось оно на мелкие кусочки.

Есть люди, проводящие жизнь в поисках осколков волшебного зеркала. Мало что способен отразить один кусочек, но, собрав их много, можно попытаться склеить зеркало и увидеть в нем мир.

Увы, трудно склеивать осколки, остаются швы и вместо целостной картины получается мозаика мелких несостыкованных отражений. Нужно целое зеркало - как часть того, волшебного.

А что если волшебного зеркала никогда и не было?

Наша книга - о моделях в теории эволюции, а сверхзадача - увидеть единство целого в мозаике моделей. Как влюбленный юноша узнает в

каждом изящном женском силуэте свою любимую, так и мы всюду видели наследование, оптимальность, эффекты отбора.

Чтобы составить представление о задачах и целях книги, ее адресатах, лучше всего сделать первый шаг - познакомиться с первой главой.

ПЕРВЫЙ ШАГ

Естественное и искусственное. Мир Эпиметей. У кого больше потомков - у мухи или у слона? Единая мера совершенства. Застывшая история. Царство матамазавров. Две ветви теории эволюции: возможен ли синтез? Проект читателя. Искусство сомневаться. Сомнения в принятом центральном тезисе. Вид с высоты, его достоинства и недостатки.

“Было некогда время, когда боги-то были, а смертных родов не было. Когда же и для них пришло предназначенное время рождения, стали боги создавать их в глубине земли из земли и огня, примешав еще и того, что вступает в соединение с огнем и землей. Когда же вознамерились боги вывести их на свет, то приказали Прометею и Эпиметею украсить их и распределить силы, подобающие каждому роду. Эпиметей выпросил у Прометея позволения самому распределять силы: “А когда распределю, - сказал он, - тогда ты посмотришь”. Уговорив его, он произвел распределение. При этом одним уделил он силу без быстроты, а более слабых украсил быстротою; одних он вооружил, других сделал по природе безоружными, но зато придумал для них какую-то иную силу во спасение. Кого из них облек он милостью, тем уделил птичий лет или подземную обитель, а кого возрастил величиною, того тем самым и спас; и так, распределяя все остальное, он всех уравнивал. Это он сделал из осторожности, чтобы не исчез ни один род”. Платон: Протагор [81, с. 62].

Дальнейшее хорошо известно. Спасая людей, “не уравненных со всеми”, Прометей принес им огонь и положил начало технической эволюции. Могущество человека огромно. Но часто результаты собственной деятельности предстают перед ним как стихийное явление, а иногда - и стихийное бедствие.

По материалистической традиции в поисках выхода из кризисных ситуаций человек обращается обычно не к анализу своей деятельности, а к изучению естественных процессов. Отсюда - нынешний повышенный интерес к экологии, теории эволюции и другим разделам науки о живом.

Двойственность нашей позиции состоит в том, что мы, с одной стороны, осознаем невозможность решения современных проблем в

рамках натуралистической традиции, а с другой - в силу профессии являемся носителями этой традиции.

Что изучать, естественное или искусственное? Задав вопрос, мы создаем пространство для ответа. Все объекты разделились на два класса. Одни придуманы и созданы, другие - возникают и существуют сами по себе. Как же быть с теми, в которых сплетено и естественное, и искусственное, например, с человеком? А они - кентавры...

Жило некогда в Элладе славное племя кентавров. Наполовину люди, наполовину лошади, они принадлежали сразу двум мирам - человеческому и животному. Как изучать кентавра? Теперь вопрос зазвучал по-другому: не *что* изучать, естественное или искусственное, а *как*. В том и отличие натурализма, что он все объекты и процессы берет как естественно существующие, протекающие сами по себе.

Порой и человеческую деятельность, и ее результаты изучают как естественный процесс [106]. Получаемые прогнозы приводят к выводу: пора человеку перейти к такому сознательному и ответственному проектированию своих действий, чтобы они достигали желаемого без побочных эффектов. Пора оседлать естественно, стихийно развивающиеся процессы и направить их в нужном направлении (а еще надо понять, что нужно). Далее невозможно быть лошадьё, а не всадником. Иначе случится то, что предсказано в известных прогнозах [106] - введении в современную эсхатологию (науку о конце света).

Человеческая деятельность в какой-то степени проектируется всегда. Но и некоторые естественные процессы и явления бывает полезно рассматривать так, как будто они искусственные, спроектированные для достижения некоторой цели. Такой прием широко распространен в биологии. Свое естественнонаучное оправдание он находит в теории эволюции, рассматривающей, в особенности после работ Дарвина, эволюцию как чисто естественный процесс.

Предлагаем Вам совершить путешествие в мир эволюции. Вряд ли его можно считать единым миром. Несмотря на один, вроде бы, объект, различные исследователи и школы конструировали разные предметы рассмотрения со своими способами описания и приемами рассуждения, областями признанных фактов, проблемами и решаемыми задачами. А сколько мифов создано при попытке согласовать полученные знания! С некоторыми из них мы познакомимся в книге.

Первый мир - древний мир Эпиметей. У Платона в мифе об Эпиметее есть важная идея о существовании единой меры для разных биологических свойств: от силы и величины до особенностей поведения и экологии (“подземная обитель”) “Он всех уравнивал”. Но в чем? Что это за единая мера? Попытаемся разобраться в этом, исходя из цели уравнивания: “чтобы не исчез ни один род”.

У кого больше выживающих потомков - у мухи или у слона? “Очевидность” подсказывает: у мухи. Не будем доверять “очевидности” и прикинем: если бы на одну муху в следующем поколении приходилось много мух (заметно больше, чем одна), то численность этих насекомых возростала бы в геометрической прогрессии и они быстренько бы заполнили всю Землю. Если бы, с другой стороны, на одного слона приходилось бы в следующем поколении заметно менее одного, то их численность также быстро в геометрической прогрессии упала бы до нуля.

“Очевидность” давала неверную подсказку, она вообще известная обманщица. Одна муха за жизнь может дать огромное число потомков, но у значительной части мух в естественных условиях потомство вообще не выживает. В среднем и получается один потомок на одного предка. Здесь мы встречаемся с важной технической идеей использования усреднения.

Какая часть бактерий не доживет до своего деления? В среднем за большое время - половина (иначе - геометрическая прогрессия).

Чтобы в череде поколений не исчез ни один вид, *коэффициент размножения* - среднее число выживших потомков на одного предка) - должен быть равен единице. Вот она - единая мера Эпиметея. Это коэффициент размножения (за периоды фиксированной длительности).

Мир Эпиметея - застывший мир. Виды в нем не возникают и не исчезают. Мир эволюционного равновесия, он вроде бы чужд идее эволюции, но в то же время необходим для ее понимания. И вот зачем

В мире Дарвина - в теории эволюции рассматривается возникновение одних видов и вымирание других. Очень важно предположение, присутствующее в большинстве трудов: виды возникают и исчезают медленно, если измерять время продолжительностью жизни особей этих видов. В результате такого разделения времен в каждый момент мир живого предстает перед нами почти как мир Эпиметея. Коэффициенты размножения для ныне живущих почти равны единице.

Появляется еще “фон сравнения” - те, кого недавно не стало. Они “были хуже”. Это означает в конечном итоге одно - их коэффициент размножения стал меньше единицы. Ныне живущие смотрятся на таком фоне как “лучшие”, “наиболее приспособленные” к имеющимся условиям. Это означает в конечном итоге, что их коэффициент размножения больше, чем у вымерших.

Фон сравнения - застывшая история, коэффициент размножения в данных условиях - единая мера оптимальности (совершенства). (Эти соображения служат источником представлений об оптимальности, но существуют принципиальные затруднения их конструктивного использования.).

Конструировать фон сравнения на основе реальной истории сложно. Если же потребовать, чтобы все значимые изменения измерялись с

помощью коэффициента размножения, то такое конструирование станет и вовсе невозможным. Используются другие подходы.

Так, используются рассуждения, копирующие инженерные формулировки. Почти буквально: “Приспособление... (название), отличающееся тем, что с целью... (описание цели) в нем... (описание отличий)”. При этом, как и для изобретений, указываются прототипы и аналоги - проводится исторический и сравнительный анализ. Другой прием: застывшую историю - фон сравнения - заменяют более условным множеством (пространством) возможностей. Не “что было”, а “все, что в принципе могло быть”.

Но этого мало - для анализа нужны такие описания живых существ, которые позволяли бы все оценивать с помощью коэффициента размножения. Это требует явной формулировки упрощений, очень существенных с точки зрения классического биолога). Поэтому предлагается выделить результаты упрощения в особое “царство” формальных и математических моделей, а применение таких результатов к классическим биологическим существам рассматривать, скажем, на правах сравнительного анализа. Мы назвали обитателей этого нового “царства” матемазаврами. Цилиндрический лось не был лосем биолога. Но сравнение теплообмена у этих двух лосей проясняет некоторые биологические вопросы.

Разводите матемазавров! Это безобидные и даже полезные существа, заменяющие теоретикам кроликов и дрозофил. Прочитав специальную литературу, можно убедиться, что большинство матемазавров бесцельно слоняется в случайных направлениях, пока не наткнется на пищу. Покушав, матемазавр тут же или чуть позже размножается и слоняется дальше. Матемазавры эволюционируют очень быстро и могут вести себя намного более осмысленно. Главная опасность - вспышка массового размножения примитивных и паразитических форм.

При работе с матемазаврами надо соблюдать технику безопасности. В ее основе лежит методологический тезис: объект исследования не идентичен предмету рассмотрения, конструируемому в науке, а тем более - частной модели. Используя этот тезис против моделирующего теоретика, иной биолог полагает, что его-то наука имеет дело с объектом, как он есть. Увы, сформулированное утверждение на то и является методологическим, чтобы относиться ко всем наукам. Живые существа во всей их чувственной данности не принадлежат предмету биологии.

Рассуждения, приводимые в биологических исследованиях, вряд ли могут одновременно схватывать больше существенных сторон и черт, чем отдельные математические модели. Конечно, различий много, необходимым основанием математического моделирования является ясность и категоричность формулировок исходных упрощающих

предположений. Напротив, во многих биологических текстах такой категоричности нет и сохраняется ощущение свободы для подтекстов, конкретизаций и достраивания. Последнее и может создавать иллюзию присутствия “всего объекта” - иллюзию наивного натуралиста.

Авторы этой книги - эволюционисты, а не биологи. Такая самохарактеристика выглядит парадоксально и требует объяснения.

В конце 20-х годов нашего столетия оформилось новое научное направление, которое можно назвать математической теорией эволюции. “Официального” единого названия оно не имеет. Его создание и первые успехи - заслуга многих исследователей. Наиболее известные из них: ДЖ. Б. С. Холдейн, Р. А. Фишер, С. Райт. Интересно, что первые шаги в этом направлении были сделаны в начале прошлого века (Т. Мальтус) и, как отмечает Ч. Дарвин, послужили основой для наводящих соображений при создании теории отбора. Но в самостоятельную область науки это направление превратилось, как это уже сказано, лет 50-60 тому назад. Наши работы по теории эволюции относятся именно к этому математическому направлению.

В целом математическая теория эволюции так же, как и более известное направление, не использующее математику, опирается на идеи Ч. Дарвина об отборе. Однако в последнее время разрыв между математическим и качественно-биологическим направлениями, как вам кажется, увеличивается.

Уровень математических работ растет, но именно математический уровень. Что же касается содержательности моделей, то их отношения с реальностью складываются далеко не идиллически. Конечно, это относится не ко всем работам, а характеризует ситуацию в среднем.

С другой стороны, биологи обычно не используют развитый математический аппарат, а предпринимаемое иногда вкрапление математической терминологии в биологические тексты (“аксиомы биологии”, “постулаты эволюционных теорий”) выглядит, с точки зрения профессионала, не очень содержательно. Все же мотив такого вкрапления может быть понят как стремление к однозначности высказываний и точности формулировок, а потому вызывает уважение.

Наличие разрыва между направлениями приводит к постановке проблемы: возможен ли синтез? Если да, тогда его необходимо произвести. Если нет, тогда каждое направление нужно достраивать. Математическое - до новой биологии, включающей в первую очередь новые идеализированные описания биологических объектов, как “машинок” для развития, выживания, размножения. Качественно-биологическое - до новой для него техники доказательств и рассуждений, позволяющей повысить однозначность получаемых следствий.

Вот краткий очерк нашего понимания научной ситуации. В соответствии с этим определяются и адресаты книги, и ее задачи. Предполагаемые читатели условно разделяются на два круга - узкий и широкий.

Узкий круг читателей - специалисты-смежники, биологи и математики. Биологи, которым интересна точка зрения специалистов по математическому моделированию, технология построения моделей и порождаемое ею отделение главного от второстепенного, возможности моделирования в теории отбора. Математики, которых интересует биология либо как объект приложения своих профессиональных знаний, либо просто на любительском уровне, как всех. Они найдут в книге изложение некоторых вопросов теории эволюции с позиций, более близких к традициям математического естествознания, чем в большинстве других популярных книг.

Конечно, в некоторых местах книги описаны мысли и факты, которые хорошо известны биологу, но интересны математику, а также идеи и методы, тривиальные для математика, но требующие определенного труда от биолога. Но в центре внимания находится “обоюдоострая” проблема соотношения модели и реальности, важная не только для профессиональных исследователей, но и для молодежи, вступающей в науку.

Широкий круг читателей - студенты и способные школьники, интересующиеся математикой или биологией. Для понимания книги достаточно хорошего знания школьных курсов математики и биологии.

Мы будем рады, если читатель, не принимая на веру какое-нибудь высказывание или положение, станет в нем сомневаться. Мы обрадуемся еще больше, если поможем читателю научиться правильно сомневаться. Догматизм и нигилизм - верные спутники друг друга. Они не требуют от своих приверженцев больших усилий, а искусство сомневаться не всегда дается легко.

Попытаемся дать совет, восходящий к Р. Дж. Коллингвуду. Прежде, чем оспаривать или поддерживать какое-нибудь утверждение, полезно задуматься в первую очередь о том, на какой вопрос его автор хотел получить ответ. Это редко бывает очевидным, но такой вопрос подчас важнее проверки формальной истинности высказываний тем более, что содержательные общие утверждения, относимые к естественным объектам, всегда допускают контрпримеры.

Прежде чем спорить или соглашаться, хорошо бы понять. Мы бы не настаивали на этой банальности, если бы не знали, что люди не всегда поступают так - и в науке тоже. Примеров сотни: от трагических до смешных, от откровенных нарушений этой нормы по схеме: “Я не понял - значит чушь” до скрытых.

Норма понимания не прописана в учебниках, ее не осваивают на специальных уроках в школе или семинарах в вузе. А жаль. Каждый осваивает ее сам, что-то додумывая и придумывая, “Изобретая велосипеды”. Сейчас мы изложим нечто вроде своего варианта велосипеда.

Что значит: “Я понял утверждение”? Возможен такой идеал: я мысленно занял позицию автора, представил себе основания этого утверждения и вопросы, на которые оно отвечает. А это означает, что я могу его обосновывать, объяснять и использовать - могу исполнять роль его автора.

А сомнение трактуется так: в этих (уже как бы своих) обоснованиях, объяснении и использовании я натываюсь на препятствия, преодолеть которые я не могу - исполнение роли прерывается. Либо аналогичная ситуация возникает не в отношении самого утверждения, а какого-либо его основания. Вот тут и может начинаться дискуссия. Иногда подобную схему действий комментируют таким образом: о каждой работе следует судить, используя в первую очередь ее собственные критерии, так или иначе в ней отраженные, а уже потом переходить к критике оснований и этих критериев.

Но где гарантии правильности понимания? Найти их трудно. Более того, в отсутствие диалога вряд ли стоит говорить о правильности. Заменой служит самосогласованность и правдоподобие. Диалог может привести самосогласованность во взаимное согласование. Здесь снова возникает возможность говорить о правильном понимании - взаимопонимании, когда нас начинает устраивать сравнение своей позиции с нашим восприятием ее отражения в собеседнике.

Понимает ли человек свою позицию? Вопрос вопросов. Интересный пример: известный физик В. А. Фок, возражая против использования понятия “общая относительность”, писал: “Эйнштейн, употребляя этот термин, проявил непонимание своей теории” [105, с. 17]. И это мнение обосновано. Итак, не исключено, что даже Эйнштейн не всегда полностью понимал возможные интерпретации своих теоретических построений. Что же сказать о других? И возможно ли в таком случае говорить об окончательной правильности понимания?

Попробуем в качестве упражнения наметить пунктиром путь от понимания к первым сомнениям для высказанного выше утверждения: коэффициент размножения в данных условиях - единая мера оптимальности.

Сначала вопрос о вопросе. Один вопрос ясен - он сформулирован в тексте: что есть единая мера для сравнения разных биологических свойств? Другой вопрос явно не сформулирован, но угадывается сразу: что

может служить основанием для представления живых организмов в качестве “как бы оптимально сконструированных” систем?

Что является основанием для ответа? Из текста вроде бы вытекает, что авторы заранее предполагали существование единой меры, апеллируя к авторитету Платона, а для получения ответа анализировали цели Эпиметея. Но эти приемы служили для подчеркивания основных выводов и аранжировки мысли. Они не могут быть основаниями для действий современных исследователей. Действительные основания проявляются в рассуждениях о вымирании в геометрической прогрессии или аналогичном перенаселении при среднем коэффициенте размножения, отличающемся от единицы.

Вместо рассуждений о влияющих факторах, совершенстве и несовершенстве и тому подобном используется простая динамическая модель. Откуда это? От Г. Галилея и И. Ньютона. А рассуждения “в среднем” - от Л. Больцмана, Дж. Максвелла и, конечно, Дж. Гиббса. Уже при анализе такого, казалось бы, примитивного рассуждения возникают тени великих. А первое исследование о “геометрической прогрессии размножения” принадлежит Т. Мальтусу. Правда, выводы он сделал другие.

Анализируем основания дальше. Средний коэффициент размножения - откуда он берется? Он существует как элемент простой динамической модели - размножения в геометрической прогрессии с этим средним коэффициентом. Но насколько эта модель соответствует имеющимся у нас представлениям о реальности (нашей действительности)?

Поверим в то, что размножение с переменным числом потомков на больших временах приведет к тому же результату - вымиранию или сохранению, который будет получен и на простой модели со средним коэффициентом размножения. Пусть усреднение обосновано.

Для полового размножения встает вопрос: как делить потомков, как определять коэффициент размножения? Проще всего - делить пополам или (для двуполого размножения) рассматривать размножение самок - учитывать только мам и дочек.

Но вот, кажется, первые серьезные сомнения. Половое размножение не есть “воспроизводство себя”. Дети не являются копиями родителей. Поэтому приписывание коэффициента размножения особи вызывает сомнения. А кому его приписывать? Видам или популяциям? А, может быть, наоборот, более мелким единицам - генам, воспроизводящимся почти без изменений (с редкими изменениями)?

И еще: странная это мера: число выживших потомков. Ныне живущие виды - потомки вымерших. Если верить определению коэффициента размножения через число потомков, то не будет ли это означать, что некоторые вымершие виды не вымерли?

Что-то надо менять. Изменения будут построены в одной из следующих глав. Предупреждаем заранее - от простой динамической модели мы не откажемся.

Попробуем примериться к использованию обсуждаемого положения. Коэффициент размножения в данных условиях - единая мера оптимальности. От чего он зависит? От свойств особей - ладно, от условий - а что включать в условия? В них входит, например, численность этих самых особей? Мало того, что коэффициент размножения непостоянен во времени и пространстве, так он еще и от численности зависит. Это обуславливает нелинейность математических моделей, а с качественной точки зрения может быть сформулирован тезис: эволюция неотделима от экологии. И это умножает трудности.

В конечном итоге существование принципа оптимальности - максимума коэффициента размножения - объясняет целесообразность строения живых существ и поэтому может служить основанием для их рассмотрения как “искусственных” образований: раз есть целесообразность, то можно говорить и о цели, и о соответствии ей. С другой стороны, реально пройти цепь от отдельных свойств организма до их влияния на коэффициент размножения очень сложно и удается только в простейших случаях. Ведь надо еще помнить, что коэффициент размножения - не просто число, а функция от условий.

Ситуация эта не является редкой и в каком-либо смысле исключительной. Аналогичные сложности возникают при попытках объяснить “из первых принципов” физики свойства твердых тел или химических молекул. Мало кто сомневается в наличии принципиальной возможности такого объяснения, но путь от принципиальной объяснимости до объяснения часто оказывается непроходимым. Проблема: что делать в таких случаях?

Злоупотребление апелляциями к отбору, призванному в конечном итоге объяснить сложные биологические свойства, без попыток измерить эти свойства с помощью коэффициента размножения или изобрести замену такому измерению, вызывает недоумение. Принципиально неконструктивные объяснения “в конечном итоге” представляют собой тройные прыжки через пропасть.

А еще более они напоминают нам историю из жизни Панурга, рассказанную Ф. Рабле. Влюбившись в знатную парижанку, Панург набил кошелек жетонами и направился к ней. Он сулил даме богатые подарки и позвякивал жетонами в кошельке, как будто там были золотые экю. От жадности у дамы загорелись глаза, но все же она отвергала домогательства. Увы, многие якобы эволюционные объяснения звучат как звон Панурговых жетонов.

Итак, зафиксированы два непонятных момента в обосновании обсуждаемого утверждения и две трудности в его применении. В нашей книге мы не смогли бы выделить краткое главное утверждение, концентрирующее ее цель и смысл. Но если попытаться выделить такое, которое тесно связано с большинством основных тезисов, то это, несомненно, будет только что рассмотренное: коэффициент размножения в данных условиях - единая мера оптимальности.

Популярное изложение дает авторам многие преимущества. Оно позволяет, не вдаваясь в детали, бросить взгляд с высоты на широкую область науки. Научно-популярная книга А. Азимова, в которой для естественного отбора был введен термин “Демон Дарвина”, так и называется “Вид с высоты”.

“До 1800 года наука напоминала культурный сад, прекрасно распланированный и ухоженный, благоухающий и плодоносный. По нему можно было прогуляться из конца в конец и рассмотреть его во всех подробностях, а с ближайшего холма - обозреть целиком и оценить его величие. Ныне сад науки чудовищно велик - он покрыл весь земной шар, карта его так и не составлена, и нет такого человека, который бы не знал о нем все... Жизнь слишком коротка, а ум слишком ограничен. Но я могу оглядеть весь сад сверху, как бы с воздушного с воздушного шара” [1, с. 9-11].

Заманчивая возможность - осмотреть вершины и пропасти эволюционных миров с высоты птичьего полета. Мы с радостью воспользовались ею. В результате рассмотрено, упомянуто, затронуто 258 проблем, каждая из которых заслуживает отдельной книги. Что нужнее: 258 монографий или одна популярная книга? И стоит ли так ставить вопрос? Возможны различные мнения: “... популяризаторы по сути своей паразиты... Они используют в целях наживы и саморекламы работу своих несчастных, придавленных судьбой собратьев. Самый незначительный успех, достигнутый в лаборатории - один из тех кирпичиков, что идут на сооружение храма науки, - перевешивает все, полученное из вторых рук, перевешивает всякую популяризацию, которая может поразвлечь часок, но не принесет никаких ощутимых результатов”, как рассуждал один из героев Конан Дойла профессор Челлинджер [55, с. 156].

Нам трудно со всем этим согласиться, но одна мысль не вызывает сомнений: нельзя все знание наук получать из “вторых рук”. Здесь есть чему поучиться у искусства. Так испокон веков одной из основных задач копирования в живописи считается необходимость “рассматривать работы великих мастеров и изыскивать причины, по которым они их производили” [127], а не набивание руки, как могло бы показаться. В науке же мы знакомимся с классическими работами в основном из вторых и третьих рук. Студенту обычно, увы, не до “изыскания причин”.

Что же делать? Читать работы великих мастеров и изыскивать причины, по которым они их производили. В теории эволюции это в первую очередь - работы Ч. Дарвина.

УГОЛ ЗРЕНИЯ

Отделение смысла от бессмыслицы. Теория - модель - объект. Теория Дарвина и динамические модели Ньютона. Закон шага и закон цели. Эволюционные сценарии в физике и биологии. Достаточны ли первые принципы? Теория или метод? Вложение возможных миров. Логическое всеведение. Неосуществимые программы дают полезные результаты. Определение как автопортрет. Проблема синтеза.

Число опубликованных статей, брошюр и внушительных монографий, посвященных биологической эволюции, уже необозримо - вряд ли найдется человек, который все это прочитал. А тут еще одна книга. Зачем? Есть ли в ней что-нибудь новое?

Мы, конечно, не рассчитываем на открытие новых биологических фактов. Новые теоретические идеи в книге все же есть, но они - далеко не самое главное. Мы придерживаемся распространенного сейчас мнения, что “в теории эволюции обескураживает не столько недостаток, сколько избыток разнообразных идей” [93]. Эти идеи часто противоречат друг другу, что перед каждым человеком, заинтересовавшимся теорией эволюции, встает задача: определить смысл от бессмыслицы, выбрать (хотя бы для себя) достаточно непротиворечивый комплекс идей.

Отделить смысл от бессмыслицы... Ставя задачу, желательно указать и возможные формы ответа. Что означает такое определение? В результате вопросы должны быть разделены на решенные, нерешенные и бессмысленные, идеи - на безусловно верные, безусловно неверные и спорные. Нужно выделить область фактов, рассматриваемую в данной науке, описать методы получения фактов и их объяснения, разделить факты на объясненные, необъясненные и, что очень важно, необъяснимые в рамках существующих представлений. Нужно предложить процедуры согласования знаний, которые должны выявлять парадоксы и противоречия. Нужно... В общем, нужно провести подробный логико-методологический анализ науки. А для осуществления его в полном объеме у нас нет средств.

Неполнота и неокончателность отделения смысла от бессмыслицы не должны нас останавливать в начале пути - без такого отделения вообще ничего нельзя сделать. Его незавершенность связана не только с недостаточной проницательностью исследователя или с нехваткой

методов. Те вопросы, которые раньше считались бессмысленными, могут оказаться осмысленными, а то что вчера казалось решенным, вдруг снова стать проблемой, и наоборот.

Примеры из физики всем известны. Так, вопрос о физическом существовании атомов был настолько далек от задач, решавшихся в физике позапрошлого века, что в прошлом веке многие объявили его неразрешимым и бессмысленным, а в начале нынешнего он успешно перешел в разряд окончательно решенных. Евклидовость геометрии реального мира (применимость теоремы Пифагора к физически существующим треугольникам) долгое время считалось настолько очевидной, что никаких вопросов не возникало. А сейчас, после Эйнштейна, мы уже знаем, что геометрия физического мира неевклидова.

Для решения поставленной задачи будет использоваться идеология математического моделирования, имеющиеся в нашем распоряжении методы построения моделей, а также некоторые методологические идеи Г. П. Щедровицкого [116, 117] и Я. Хинтикки [109]. (Отметим, что мы не являемся последовательными приверженцами какой-либо методологической школы).

Слово “модель” многозначно: его значение для художника или конструктора сильно отличается от того, которое принято в математическом моделировании. Мы его не рискнули предложить темпераментному художнику свое понимание модели. Для нас модель существует чаще всего в форме системы уравнений, обычно дифференциальных - описывающих изменение системы со временем, хотя бывают безусловно и другие формы моделей.

Почему “существуют в форме”, а не просто “есть”? Дело в том, что в ходе построения модели и, главное, при соотнесении ее с объектом, обычно используются дополнительные структуры, которых в самой системе уравнений нет. Поэтому модель есть не просто система уравнений, но еще и путь ее построения, и способ наложения на объект: метод изготовления плюс способ использования.

Теория и модель. Иногда понятия “модель”, “моделирование” расширяют настолько, что любое знание объявляют моделью. Можно ли так делать? Имеют право. Но в результате этой склейки исчезает очень важная пара - теория и модель.

Модель совмещается, сравнивается с частными объектами и для этого приспособлена. Теория относится вроде бы к широкому классу объектов, но ни с одним из них напрямую сравниваться не может. Нет “теории атома водорода”. Есть теория - квантовая механика, а модель построена с учетом большого числа дополнительных знаний: атом состоит из точечных протона и электрона, они взаимодействуют по закону Кулона, даны заряды и массы.

Опыты и эксперименты проводятся с отдельными частными объектами. Результаты сравниваются с теми, что получены на модели. Если есть заметные расхождения, то в первую очередь критикуют модель. Теория защищена моделями. Даже если не удастся построить удовлетворительную модель, это относится на счет незнания каких-то дополнительных деталей объекта, “возмущающих” правильное поведение, или на счет неумения исследователя. И только появление новой теории, с помощью которой новые модели продуцируются более успешно, является достаточным основанием для отказа от старой.

Пример по истории механики (по Э. Маху [70], с. 179-180]). Г. Галилей построил для доказательства вращения Земли свою (как мы теперь понимаем - неправильную) теорию приливов. Он полагал, что они происходят из-за вращения Земли: вода движется по инерции прямолинейно, а Земля поворачивается. Более правильную идею И. Кеплера о воздействии Луны великий Г. Галилей считал ошибочной, она могла получить достаточные основания только после создания теории тяготения. Теория Галилея давала один прилив в сутки вместо двух. Это его не особенно смущало: существовали неучтенные факторы и мысль пошла таким путем - если учесть все эти факторы, то все получится.

То же и в химии. Я. Вант-Гофф не рассматривал сложных реакций. Это одна из причин несовпадения его моделей с некоторыми экспериментами. Большая часть классической книги “Очерки о химической динамике” посвящена разбору “возмущающих действий”, которые могут исказить явление. Теория же сомнению особенно не подвергалась.

Способы построения моделей и наложения их на объект в формальную структуру теории обычно не входят (вспомните модель атома водорода). Они образуют как бы дополнительный слой научного предмета. Анализ этих способов для всех современных наук - важная нерешенная проблема, обращенная как к конкретным специалистам, так и к методологам. Это и наша проблема.

Введение в науку динамических моделей - одно из величайших достижений Исаака Ньютона. Он отчетливо понял, что если получено описание движения на малом (бесконечно малом) отрезке времени, то можно описать его и на конечном, большом интервале, решив соответствующее дифференциальное уравнение. Он также наверняка понял, что эта идея - одно из важнейших открытий, иначе трудно объяснить, почему она была опубликована им отдельно в зашифрованном виде фразой: “Полезно решать дифференциальные уравнения” - с переставленными буквами (в виде анаграммы), так, чтобы посторонний не мог прочесть зашифрованное, а приоритет был бы зафиксирован.

Теория эволюции с помощью естественного отбора, как это ни странно, предстает перед нами сейчас одним из воплощений идеи Ньютона: описываются изменения, связанные с наследственными вариациями, рожденьями, выживанием, размножением и смертностью на сравнительно небольших временах, и утверждается, что биологическая эволюция сводится к большой последовательности таких изменений.

Предлагается объяснить сначала мелкие шаги, вместо того, чтобы сразу браться за объяснение итога. Принимается “закон шага” вместо “закона цели”. Не существует в общем случае иного объяснения результатов динамики кроме того, что они следуют из описания мелких изменений, а система, проходя их шаг за шагом, “сама себя находит”. А если для некоторых классов систем и появляются описания итога движения, минуя последовательное перемещение (шаг за шагом), то это тоже может рассматриваться как свойство шагов, свойство, вытекающее из описания сдвигов на малых временах.

Предельное (через большое время) состояние изолированной физической системы соответствует максимуму энтропии и, соответственно, каждое самопроизвольное изменение ее состояния увеличивает энтропию.

Со временем выживают те организмы, у которых коэффициент размножения больше - но это не из-за какого-либо стремления к совершенству, а просто потому, что с ходом времени их доля в системе все увеличивается. Коэффициент размножения - просто коэффициент в уравнениях, описывающих изменение численности, а не цель совершенствования. Но в результате появляется возможность рассматривать его как меру оптимальности.

Такого рода динамические модели - модели различного (часто говорят - дифференциального) выживания - призваны объяснить эволюцию. Но можно ли с их помощью объяснить биологическую эволюцию? И вообще, как мыслится объяснение мира живого путем сравнения с явными математическими моделями? Хорошо, пусть в конечном итоге различное выживание и наследуемые различия все определяют. Признаем это. Но что делать с принятым тезисом? Можно использовать его как формулировку метода: рассматривать все биологические свойства, палеонтологические находки и т.п. с точки зрения возможного выживания и размножения, с точки зрения отбора и адаптации к изменяющимся условиям.

Например, со временем изменялись конечности у предков лошади. Происходило уменьшение числа пальцев. В конце концов боковые пальцы укоротились и исчезли. Конечности стали однопальными. Это давало преимущество в условиях смены лесных ландшафтов на степные. Одновременно происходило изменение зубов. Преимущество в

выживании получили те, у кого стачивание зубов компенсировалось постоянным ростом: износ при переходе к питанию травой увеличивается из-за земли, захватываемой вместе с пищей. Иное дело - листья в лесу. (Подробнее о классических работах В. О. Ковалевского по эволюции копытных, а также о личности автора можно прочитать в книге [87]).

Метод дает возможность конструировать сценарии эволюционного развития и таким образом упорядочить данные, это - способ понимать то, что было непонятно до Дарвина.

Ответы на вопросы о происхождении жизни, возникновении видов, эволюции тех или иных органов представляют собой более или менее правдоподобные сценарии, основанные на фактах и основных принципах физики, химии, теории эволюции. Сценарии являются ответом на вопрос: как это могло произойти в соответствии с данными основными принципами и имеющимися фактами. Именно, как могло произойти, а не как произошло¹. Существование единственного (с точностью до незначительных деталей) сценария, совместимого с известными фактами и основными принципами - недостижимый идеал.

Основные эволюционные события уникальны, очень длительны и их сценарии не допускают прямой экспериментальной проверки. Ее место занимает проверка устойчивости к появлению новых фактов, которое время от времени происходит. Согласуется новый факт со сценарием - хорошо. Требуется незначительных изменений - тоже неплохо.

Такая же ситуация встречается во многих науках. Эволюция Вселенной, например, - еще более длительный процесс, а об экспериментальном повторении его отдельных частей нечего и думать. Все же появляются убедительные исследования о сценариях этой эволюции (рекомендуем прочитать книгу С. Вейнберга о первых трех минутах Вселенной [19]).

Метод отчасти тот же - конструирование правдоподобных сценариев. Существует и важное отличие. В теории эволюции Вселенной есть средства, позволяющие строить динамические модели на основе содержательных предположений, и аппарат для исследования моделей. Это означает, что есть способы получения однозначных следствий из

¹ Здесь речь идет не о неисчерпаемости объекта, очевидной с точки зрения методологической позиции, использующей разделение объекта, как он есть, и предмета, включающего средства описания и изучения объекта. Нет, неединственность сценариев есть прямое следствие способов их построения. Они могут эволюционировать и сменять друг друга и эти смены не будут исправлением ранее допущенных ошибок. Неединственность сценариев должна явно учитываться в теории эволюции. Имеет силу "третий закон Симпсона": "Какого бы рода проблема перед нами не стояла, нам всегда не хватает информации, чтобы решить ее окончательно" [92, с. 43].

принимаемых предположений. Теория биологической эволюции этого блага лишена.

Создание правдоподобных сценариев для эволюционных событий важно не только само по себе. Оно связано еще с вопросом о достаточности основных принципов. Объяснима ли эволюция живых существ с помощью теории отбора редких случайных наследуемых изменений? Важен перенос центра тяжести вопроса с объяснения на объяснимость. Мы можем не знать, как в действительности возникла Солнечная система, но тем не менее сохранять уверенность в том, что ее возникновение с высокой точностью согласуется с известными законами физики, новых же законов изобретать не надо. А в теории эволюции? Может быть, здесь многое еще достаточно убедительно не объяснено, потому что вовсе необъяснимо на основе принятых предположений. Большинство ученых сейчас полагает, что о необъяснимости не может быть и речи. Эта точка зрения горячо отстаивается М. В. Волькенштейном [24].

Истина в науке ищется, однако, не путем голосования. И некоторые видные специалисты полагают, что общепринятые положения теории эволюции в принципе не могут объяснить многих сторон развития жизни (Л. С. Берг [12], А. А. Любищев [64, 65]).

В дискуссиях о теории эволюции противники ее дарвиновского направления, противопоставляя проблемы дарвинизма успехам физики, любят ехидно задавать такого сорта вопросы: объясните-ка из ваших основных принципов, как возник глаз? Почему-то глаз вызывает у них особую симпатию и упоминается чаще других органов.

Ответить на это можно. Во-первых, правдоподобные сценарии возникновения органов уже есть, а во-вторых, вот Вам атом меди (заданы атомный вес и заряд ядра). Сосчитайте-ка из основных принципов физики электропроводность реальной меди, ее упругость и др. Впрочем, достаточно электропроводности, но только честно: даны атомный вес, заряд, уравнения квантовой механики, закон Кулона и определение электропроводности, а более ничего. Нам известны примеры таких вычислений. Вряд ли их можно провести честно, не подглядывая по дороге на реальную медь и не делая на основе этого подглядывания существенных упрощений задачи.

Проблема: как пройти от основных принципов до модели объекта. От механики Ньютона до модели Солнечной системы, от квантовой механики до модели атома водорода пути пройдены. Модели получены, достигнуто совпадение с эмпирическими данными, которые начали собираться задолго до появления этих моделей и теории. Такие примеры есть и для теории Дарвина. Они относятся к искусственному отбору в лабораторных популяциях, к селекции пород домашних животных, к некоторым

быстрым перестройкам в природе, причиной которых, увы, часто является деятельность человека, загрязняющая и разрушающая среду обитания. Несколько таких примеров приводится в главе “Отбор по признаку”.

Метод построения сценариев базируется на успехах двух типов. Во-первых, успешное описание тех кратковременных процессов, которые мы наблюдаем и можем подробно описать, и, более того, сами организуем и которыми можем управлять. Другие успехи - построение для эволюционных событий удачных сценариев, которые устойчивы к постоянно появляющимся новым фактам, то есть поглощают их, не испытывая существенных изменений.

Чтобы не возникло путаницы, полезно провести такое разделение. Одна и та же теоретическая идея может выполнять различные функции. Она может быть элементом формально организованного знания - теории. Теория относится к некоторому классу идеальных объектов. Свойства идеальных объектов могут быть получены, выведены теоретически. Потом эти свойства относятся к реальному объекту. Здесь они составляют теоретически обоснованную гипотезу, допускающую проверку. Если проверка не удалась, то чаще всего обвиняют в неточности подбор идеального объекта, моделирующего реальность - моделирование.

Та же самая теоретическая идея может выступать и в качестве основания для метода. Формальная согласованность идеи с существующими теориями с этой точки зрения играет второстепенную роль. Зато потом полученное знание будет труднее согласовать с имеющимся. Тут выделяется особая группа задач по согласованию знаний.

Профессор А. А. Власов в середине нашего века искал уравнения, описывающие системы из большого числа частиц: жидкость, твердое тело и т.п. в ходе своих поисков он руководствовался идеей: частицы полностью делокализованы (размазаны в пространстве). Нет частиц - есть только плотность вещества. Это не согласуется ни с тогдашней, ни с сегодняшней теоретической физикой. Как критиковали А. А. Власова виднейшие теоретики: Л. Д. Ландау, Н. Н. Боголюбов... А результат? Уравнение Власова вошло во все учебники. Для него получено “легальное” обоснование. Метод сработал, хотя его основания были откровенно еретическими и как теория отвергнуты.

Противники дарвинизма требуют, чтобы он работал как теория ньютоновского типа с моделированием и предсказанием в тех областях, где он функционирует в первую очередь как метод построения сценариев, упаковки фактов. При этом отвергаются как недостаточные или вообще не относящиеся к сути дела аргументы, обращающиеся к успехам в моделировании лабораторных или других искусственных систем.

Чтобы разобраться в проблемах объяснения, выведения и выводимости (все равно - явлений эволюции из дарвинизма или химии из

физики), нужны логические средства, упорядочивающие рассуждения. Мы будем искать их в представлении о возможных мирах.

Понятие *возможного мира* восходит к Лейбницу. Не входя в формальные подробности, можно сказать, что возможный мир есть некоторое “возможное положение дел в мире”, взятом со всей деятельностью. То, как человек представляет себе возможное, управляется концепциями, которые он разделяет. Возможные миры механики - это система тел, взаимодействующих посредством заданных сил, взаимодействующих посредством заданных сил и движущихся по законам механики. Возможные миры биологии можно задавать как системы различных живых существ с заданной историей, строением и функционированием. Все неживое выступает при этом как “среда”, а как будут представлены различия живых существ, их история, строение и функционирование - зависит от избранного взгляда на предмет биологии.

С каждой общей концепцией связано семейство возможных миров. Один из вариантов проблемы сводимости: представим себе мир, где все происходит в точности по известным фундаментальным законам физики. Будет ли в этом мире место для известной нам химии? А для биологии или физики твердого тела? Можно ли среди возможных миров фундаментальной физики найти такой, который бы практически не отличался от нашего действительного мира (за исключением тех деталей, которые известны только специалистам - физикам)? Мы вслед за многими²) говорим: Да! Среди возможных миров физики найдется такой, где почти все как в нашем действительном мире. И даже существуют люди, сидящие за письменным столом и создающие на русском языке такой же текст, как этот. Но сразу оговоримся: это “Да” есть результат веры, идеологической установки, а не знания. Знать такие вещи мог бы только логически всеведающий субъект. “Мировой разум” П. Лапласа, который знает все о механическом мире в каждый момент времени и может совершать сколь угодно точные предсказания, - вот примерный масштаб такого субъекта.

Есть еще одна логическая проблема. Понятия человек, дерево, ююю не принадлежат языку фундаментальной физики. Распознать эти объекты в физическом мире непросто. Если смотреть на мир через электронный микроскоп, то ни цветок, ни насекомое, ни человек не будут увидены. Даже слово “молекула” принадлежит иному словарю.

² “Законы феноменов биологии являются и не могут быть ничем иным, нежели поведением атомов и молекул, когда они взаимодействуют таким образом, что создают живые организмы” [71, с. 183]. Эта неправдоподобно радикальная точка зрения получена перефразировкой высказывания Дж. Ст. Милля. Анализируя и критикуя ее, известные биологи [71] подчеркивают, что биология, конечно, не противоречит физике, но содержит особые законы. По их высказыванию: “организм - совершенно особая совокупность молекул” - можно судить о позиции. На используемом языке это можно было выразить так: возможные миры физики, в которых есть жизнь, - совершенно особые и физика не обладает правилом отбора этих миров. Физика не знает, что такое жизнь.

Есть такие тестовые задачки: найти человека, зверя или птицу в хаотическом переплетении линий. А представьте, что задано состояние системы протонов, нейронов, электронов. Найдите здесь человека. Задача эта того же масштаба, что и логическое всеведение.

Итак, сразу два препятствия, мешающие решить вопрос о сводимости: необходимость логического всеведения и проблема распознавания объектов, не принадлежащих к идеальным объектам физики.

Нужно ли ставить вопрос о сведении и объяснении или сводимости и объяснимости? И что может дать его изучение, кроме субъективной веры в объяснимость? В мире современной физики известны основы, но никогда не будут известны все следствия. Их можно открывать - большинство теоретических работ описывает такие открытия. Следовательно, при анализе человеческих знаний надо признать в качестве допустимых и такие возможные миры, в которых запрятано труднообнаружимое противоречие. Если носитель знания лишается логического всеведения, то следует признать и “невозможные возможные миры”. Это еще более запутывает рассматриваемый вопрос. Может быть, наше убеждение о принципиальной сводимости основано на мысленном рассмотрении невозможных возможных миров физики? (Так думал известный физик Е. Вигнер, который пытался доказать с позиций квантовой механики невозможность самовоспроизводящихся систем [22]).

Редукционизм - установка на сведение одних наук или их крупных разделов к другим: химии к физике, биологии и химии к физике, всей биологии к какой-либо ее части, физики твердого тела к квантовой механике и т.д. Цели редукционизма обычно нереальны, но полезная продукция в ходе осуществления его программ производится.

Из той области, которую хотят объяснить, “свести”, выделяется ряд задач (обычно чрезвычайно упрощенных), которые действительно могут быть решены другими средствами, сведены на другой уровень - от химии к физике, например. Решив эти задачи, берутся за другие, несколько более сложные. Здесь прямое сведение не удается, но можно использовать уже решенные более простые задачи и строить заключения по аналогии. Кроме того, не запрещено дополнительное обращение к опыту. Так рождаются промежуточные синтетические и полуэмпирические методы исследования. Они либо образуют со временем новую область науки, обрастая ториями, фактами и средствами представления объекта, либо включаются в одну из взаимодействовавших областей науки.

Так возникла квантовая химия на стыке физики и химии, а также статистическая физика, как результат работ, ставивших своей целью сведение термодинамики к механике. Физика твердого тела, напротив, втягивает в себя продукты всех попыток редукции. В результате она стала

очень сложным единством разнообразных, а иногда взаимно противоречивых идей, методов, моделей.

Интересно, что даже общепризнанные успехи объяснения одной области науки посредством другой не отменяют объясненной области с ее понятиями, методами, моделями. Так, геометрическая оптика продолжает успешно использоваться, хотя показано, что она предельный случай волновой. Напротив, методы геометрической оптики проникли в волновую как основа для построения приближений.

Редукционизм обычно не может достигнуть своей цели, но может быть полезен. Но все же хорошо бы знать, к какой цели идет движения и не задаваться принципиально недостижимыми ориентирами. Великая цель не обязательно та, которую вообще нельзя достичь. Великая задача - не та, которая не имеет решения.

Явно свести всю эволюционную биологию к динамическим моделям отбора наследуемых вариаций невозможно, да и не нужно, а вот мыслить все эволюционные события как происходящие в том мире, где “все по Дарвину” (или по современной синтетической теории) полезно - это способствует упорядочению и согласованию знаний. Мы мыслим молекулы состоящими из атомов и подчиняющимися квантовой механике даже тогда, когда уравнения квантовой механики не применяются. Такое вложение позволяет ухватить любую возможность использования общих идей, любую возможность моделирования.

В физике, в тех ее областях, которые не сводятся к фундаментальным теориям, очень развита особая культура оценок. Для изучаемых объектов рассматриваются их модели - идеальные объекты фундаментальной теории. Но работа с такими моделями по соответствующим строгим правилам невозможна - как невозможно, например, выписать несколько миллионов (или более) уравнений и решить их. Резко упрощая правила оперирования с моделью и тем самым значительно ухудшая точность, получают и тем самым значительно ухудшая точность, получают оценки вместо ответа. Иногда можно прикинуть, насколько велико возможное расхождение оценки и ответа (если представить, что тот будет получен логически всеведующим субъектом). Искусство оценок было бы очень полезно и в эволюционной теории, но как его вырастить? Проблема.

Есть в биологии серия “вечных” вопросов, посвященных выяснению понятий: “что такое..?”. Они периодически всплывают и иногда вызывают бурные дискуссии ученых. Вопрос: “что такое жизнь?” - интенсивно обсуждался в научной литературе прошлого и начала нынешнего века. Сейчас же он переключался в основном на страницы научно-популярных и художественных книг. До сих пор вызывает споры понятие “биологический вид”.

Эта серия вопросов призывает не просто к игре в определения. Понятия “жизнь”, “биологический вид” и другие им подобные двулики. С одной стороны, они являются элементами, кирпичиками в системе знаний и могут определяться через свои функции в этой системе. С другой - они соотносятся с естественными объектами, с которыми мы непосредственно сталкиваемся в своей практике. Задача определения здесь сложнее и многообразнее, чем, например, в математике. В частности, определение жизни, даваемое ученым, содержит и его исследовательскую позицию - “угол зрения”. Не определение, погружаемое в объект (“что такое жизнь”), а определение предмета исследования (“жизнь как...”).

Бессмысленно пытаться определить объект как объект. На это постоянно наталкиваются, но редко замечают. Надо сразу рассматривать объект как включенный в деятельность. Формулировка определения может быть полезна и как момент рефлексии, самоанализа: стоп, а чем это мы занимаемся? Утрируем: определение во многом есть зеркало дальнейшей деятельности, автопортрет исследователя. Прямо по К. Чуковскому:

“Мудрец в нем видел мудреца,
Глупец - глупца,
Баран - барана,
Овцу в нем видела овца,
И обезьяну - обезьяна.
Но вот подвели к нему Федю Баратова,
И Федя неряху увидел лохматого”.

В определении необходим, конечно, и объективный момент. Если оно плохо связано с реальностью, то возникает изучение фантомов, создаваемых исключительно воображением. Не тени, не проекции реальности будут тогда в центре внимания, но лишь “тени теней”. Есть в определении и прагматический аспект. Кроме вопроса: “почему так определяем”, важен и другой: “зачем?”.

Итак, обозначено три аспекта определения: что изучается, как и зачем, а в придачу еще вплетенное в них самоопределение. Можно, конечно, выделить и другие аспекты.

Дадим пример двух определений жизни - двух взглядов, связанных с различными временами рассмотрения. Подход первый, порождается взглядом на живой организм, как на постоянно самообновляющееся физико-химическое единство. Отсюда - многие современные успехи физико-химической биологии [50] и проекты теоретической биологии, обращенные в будущее [9]. Время рассмотрения здесь - одно, реже - несколько поколений. Если же взять за основу определения размножение и наследование, придем к популяционной генетике и теории микроэволюции. Здесь времена - десятки и сотни поколений.

В книге К. Анфинсена “Молекулярные основы эволюции” говорится: “можно представить любой вид как иерархию белковых структур, различающихся по своей “уязвимости”: от совершенно “неприкосновенных” до весьма легко переносящих изменения” [5, с. 223] это тоже свой взгляд на живое, в соответствии с ним строились и строятся многие разделы молекулярной биологии.

А вот отрывок из старой, но и по сей день интересной работы Ж. Леба: “то, что мы называем жизнью, состоит из целого ряда химических реакций таким образом, что одна какая-нибудь реакция или группа реакций (*a*) (например, гидролиз), вызывает или доставляет материал для следующей группы реакций (*b*) (например, окислительных процессов)” [61, с. 230]. Не правда ли, это определение похоже на зеркало исследовательской деятельности по типу: я исследую жизнь так. Прагматического аспекта мы здесь не касаемся. Его изучение требует далеких экскурсов в историю вопроса. Но, строго говоря, без этого нельзя выяснить причины, по которым проводились великие работы.

От разных определений приходим к разным предметам. Как связаны результаты этих областей? Вновь мы уткнулись в проблему синтеза знаний. Не исключено, сто она является основной проблемой современной биологии и дальнейшее развитие этой науки будет определяться в первую очередь прогрессом в направлении синтеза.

Закljučая главу, отметим, что наука - огромная область человеческой деятельности и удержать ее всю в одном рассуждении нельзя. Даже рассматривая свою собственную деятельность, нельзя добиться полного ее охвата. Всегда схвачена и проанализирована будет только какая-нибудь проекция.

Неполнота проведенного разбора очевидна, но этот второй шаг вооружил нас для дальнейшего движения.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ

Восемь разновидностей моделей. Парадоксы и презумпция осмысленности. Незавершенные миры развивающейся физики. Рамка для неизвестных возможностей и в ней - Чебурашка. Простота без упрощений. Мысленный эксперимент - столкновение знаний. Имитационные модели. Две функции моделей: соответствие объектам и смыслообразование. Эффект зайца. Неужели физику легче, чем биологу? Проект двух следующих шагов.

Название этой главы представляет почти дословный перевод заголовка статьи Р. Пайерлса *Model Making* (Делание моделей; имеется русский перевод [80]). В работе Р. Пайерлса дана классификация моделей, используемых в физике. Мы будем применять ее в книге, добавив еще одну рубрику - вместо 7 типов получим 8. Излагаемая классификация не претендует на всеобщность. Ее можно назвать скорее рабочей, суммирующей большой опыт деятельности Р. Пайерлса, его друзей, к которым принадлежат многие создатели современной физики, и вообще, опыт перестройки физики, происходившей в первой половине нашего века и продолжающейся поныне.

Мы сознательно отказались от соблазна построить свою классификацию моделей. Кроме уважения к Р. Пайерлсу и его опыту нами двигало желание иметь перед собой “двойную действительность”. Взгляды крупного физика на научную работу почти столь же интересны для обсуждения и важны, как и сама наука. Использование чужой классификации очень удобно: с одной стороны, она есть средство, применимое в анализе, с другой - сама составляет объект анализа, зафиксированный опыт моделирования.

Дальнейший текст этой главы состоит из трех компонент: собственный текст Р. Пайерлса³, пояснение к нему, составленные нами как бы с позиции Р. Пайерлса (текст понимания), и аналитический комментарий, в котором мы пытаемся по-своему осмыслить классификацию, размещая ее среди своих знаний и представлений о моделировании и научной теории.

Первые два типа моделей (названия и краткие комментарии в скобках (“такое могло бы быть”) принадлежат Р. Пайерлсу).

Тип 1: Гипотеза (такое могло бы быть).

Тип 2: феноменологическая модель (ведем себя так, как если бы...).

³ Далее в этой главе взятый в кавычки текст есть цитата из статьи [80], если нет дополнительных указаний

Эти типы моделей тесно связаны между собой. Они различаются в основном тем, как к ним относится исследователь. Модели первого типа “представляют собой пробное описание явления, причем автор либо верит в его возможность, либо считает даже его истинным”. Модели второго типа привлекаются тогда, когда предлагается механизм для объяснения явления, но ясно, что имеющихся данных недостаточно, чтобы убедить нас в справедливости этого объяснения. При этом поиск окончательного ответа считается незавершенным. Сама же модель может рассматриваться как способ объяснения имеющихся соотношений и формулировки дальнейших предположений.

К первому типу Р. Пайерлс относит модель Солнечной системы по Птолемею и усовершенствованную Кеплером модель Коперника, модель атома Резерфорда и модели эволюции Вселенной - в том числе модель Большого Взрыва, которой посвящена уже упоминавшаяся книга [19]. Во второй тип входят, например, модели теплорода и кварковая модель элементарных частиц.

Поскольку различие между моделями первого и второго типов состоит, в основном, в отношении к ним, то между этими двумя группами моделей идет непрерывный обмен. Так, представление о том, что все частицы состоят из “ядерных аристократов” - кварков, родились, как полагает Р. Пайерлс, в виде модели второго типа, а последующее развитие передвигает ее в разряд гипотез (тип 1). Идея атомизма в физике (по Р. Пайерлсу) также возникла как модель второго типа, а сейчас представление об атомах окончательно относится к типу 1.

Знаменитый исследователь науки И. Лакатос полагает (и обосновывает свое мнение), что закон тяготения Ньютона создавался тоже как феноменологическая модель, а в разряд фундаментальных гипотез он перешел позднее: “для самого Ньютона и его личных учеников теория тяготения никогда не являлась чем-то большим, чем промежуточное решение проблемы” [60].

А вот модели “светоносного” эфира, пронизывающего все тела, проделали путь от типа 1 к типу 2, а сейчас покоятся на кладбище науки.

Вот еще три типа моделей, объединенных идеей упрощения. Но упрощение бывает разным.

Тип 3: Упрощение (опустим для ясности некоторые детали).

Тип 5: Эвристическая модель (количественного подтверждения нет, но модель способствует более глубокому проникновению в суть дела).

Даже если удастся записать уравнения, описывающие явления, то найти их точное решение чаще всего нельзя. Вычислительные машины спасают далеко не всегда - громоздкость вычислений и получение результата в виде числа (пусть довольно точно найденного), а не формулы, которую можно качественно проанализировать во всем диапазоне

условий, снижает ценность прямых расчетов. В этом случае наиболее естественный путь - использование приближений, то есть переход к моделям типа 3. В поиске приближений физики достигли виртуозности, иногда шокирующей строгих математиков. Как пишет Р. Пайерлс, при решении многих проблем “обычно не удается дать строгое доказательство того, что выбранное приближение является адекватным, или, если быть точным, установить пределы изменения погрешности вычислений, обусловленной отбрасыванием членов более высокого порядка малости. В таких случаях на помощь приходят здравый смысл и накопленный опыт работы: квалифицированный физик обычно знает, где его подстерегают принципиальные ошибки, и может оценить предполагаемые здесь эффекты”.

К моделям типа 3 (приближение) относятся, очевидно, все *модели линейного отклика*. Они состоят в том, что уравнения полагаются линейными. Стандартный пример - закон Ома для связи тока, текущего по проводнику, с приложенным напряжением. Некоторые, привыкнув к металлическим проводникам и не очень большим напряжениям, начинают считать закон Ома законом природы, а не обычным приближением. Чтобы убедиться в том, что это не так, достаточно приложить напряжение к полупроводнику.

Отличительная черта моделей линейного отклика заключается в том, что они могут применяться как при наличии более точных моделей (под названием *феноменологические линейные модели*). На наш взгляд, вопрос о том, к какому типу относить линейные феноменологические модели - к 3-му или 4-му - не вполне ясен. Ведь не всегда понятно, как построить для них нелинейный прообраз, чтобы потом его упростить. А в таком случае неучитываемая нелинейность, скорее, есть отбрасываемая качественная деталь.

Другой пример модели типа 3 (приближение) - *идеальный газ*. “Мы подразумеваем под ним газ, в котором отсутствуют столкновения между молекулами и потому они двигаются полностью независимо одна от другой. По мере уменьшения давления любой реальный газ все в большей степени стремится к пределу, установленному идеальным газом. В результате этого появляется возможность экспериментировать со столь разреженным газом, в котором можно пренебречь отклонениями от законов идеального газа. Такой газ можно использовать, например, в газовом термометре и установить достаточно точную шкалу абсолютных температур. Если использовать рассматриваемое приближение таким образом, то оно ничем не отличается от ранее отмеченных приближений линейного отклика - снова что-то считаем очень малым или очень большим, - однако и при значительно более высоких плотностях газа весьма полезно наглядно представлять себе значительно более простую

ситуацию с идеальным газом. Для целей количественного описания поведения такого газа можно подкорректировать результаты, учтя столкновения между отдельными частицами. При этом мы не выйдем за рамки использования обычной модели типа 3. Однако довольно часто этими поправками можно пренебречь, когда речь заходит о быстрой ориентировке в вопросах возможного поведения исследуемого газа, и тогда фактически используемое приближение следует отнести к моделям типа 4”.

Итак, одни и те же уравнения могут служить моделью типа 3 (приближение) или 4 (“опустим для ясности некоторые детали”) - многое зависит от способа использования и от того явления, для изучения которого используется модель.

“Многие модели, с которыми сталкиваются физики, выглядят на первый взгляд настолько сложными, что в итоге всегда имеется возможность оказаться в положении человека, “не видящего из-за деревьев леса”. Большую роль в преодолении такой ситуации может сыграть использование упрощенной модели, в которой опущены некоторые дополняющие детали”. Так получаем модели типа 4. Это не просто приближенные модели. В них отбрасываются детали, которые могут заметно повлиять на результат.

Одна модель такого типа уже рассматривалась. Она состоит в применении модели идеального газа к заведомо неидеальному. А вот другая - уравнение состояния Ван-дер-Ваальса для одного моля неидеального газа

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT,$$

где P - давление, V - объем, T - температура (К), R - газовая постоянная, величина b характеризует минимальный возможный объем, с помощью величины a учтены силы притяжения молекул. При этом полностью не учитываются такие детали, как различные возможные зависимости силы от расстояния между частицами.

К четвертому типу относится большинство моделей физики твердого тела, жидкостей и ядерной физики. Дело в том, что путь от “фундаментального” микроописания на языке свойств отдельных частиц к макроописанию - к свойствам тела, состоящего из большого числа частиц, - очень длинен. Пройти его весь трудно. Этот путь в деталях доступен лишь логически всеведующему субъекту. Реально физики вынуждены прибегать к значительным упрощениям, отбрасывая многие детали. Этот путь и приводит к моделям 4-го типа.

Можно же, напротив, строить теорию твердого тела или жидкости сразу как феноменологическую, не идя при этом от отдельных частиц. Не знаем, куда бы отнес такие модели Р. Пайерлс, но на наш взгляд их можно

относить к типу 2 и даже к типу 1 - все зависит от того, как понимать действительность, какое значение приписывать словосочетаниям “на самом деле”, “истинное описание” и другим. Можно сказать и так: все определяется теми возможными мирами, в которые мы помещаем наши идеальные объекты (модели), тем, как в них представляется реальность.

“Иногда бывает необходимо, или полезно, еще дальше отойти в сторону от реалистического описания исследуемого явления и достичь тем самым еще большего упрощения, сохраняя тем не менее достаточную меру подобия с реальной ситуацией. В итоге это помогает нам узнать нечто новое о природе последней. Различие между моделями этого типа и типа 4, по всей видимости, менее остро, чем в случае ранее проведенного деления моделей на первые четыре типа”.

Тип 5 - *эвристическая модель*. Она уже не претендует на количественное согласие с экспериментом, но должна помочь пониманию.

“В качестве типичного примера остановимся на понятии о средней длине свободного пробега в кинетической теории. Во многих случаях столкновения между молекулами играют важную роль даже в разреженных газах. Это в особенности касается процессов переноса, таких, как вязкость, диффузия или теплопроводность. Законченная теория интересующих нас столкновений частиц выглядит весьма внушительно и отнюдь не всегда позволяет получить физически наглядные результаты. Часто, поэтому, исходят из предположения о том, что каждой молекуле присуща определенная вероятность столкновений с другой молекулой на единице пройденного пути, что после такого столкновения движение пробной частицы носит случайный характер, т.е. она “не помнит” о своей скорости или направлении движения до момента удара”. Эта модель⁴ позволяет получить простые формулы для коэффициентов вязкости, диффузии, теплопроводности и других. Но, увы, ошибка этих формул часто велика. “Обычно, однако, они правильно отражают порядок величины”. Про ошибки знают все. “Однако данная модель настолько хорошо себя зарекомендовала в ситуациях, где требуется получить общее представление о величине эффекта, что все это время ею широко пользовались даже и те, кто знаком с присущими ей недостатками и ловушками”.

Но бывает и так, что трудно изготовить модель, которая хотя бы качественно согласовывалась с реальностью - эвристическую модель пятого типа. Все же и в этом случае полезно моделирование. Построим модель, отражающую действительность хоть в чем-то, в какой-нибудь черте. Построим *модель по аналогии*.

⁴ В научно-педагогическом фольклоре она получила название “модель абсолютно пьяного человека”: сделав шаг (на длину свободного пробега), он тут же забывает, куда шел, и направление следующего шага совершенно случайно.

Тип 6: Аналогия (учтем только некоторые особенности). На что рассчитывает физик, строя такую модель? Вероятно на то, что “коготок увяз - всей птичке пропасть”, уцепишь какой-нибудь важный момент, а там глядишь - и весь клубок загадок разматывается.

Р. Пайерлс приводит поучительную историю использования аналогий в первой статье В. Гейзенберга о природе ядерных сил. “Это произошло после открытия нейтрона, и хотя сам В. Гейзенберг понимал, что можно описывать ядра состоящими из нейтронов и протонов, он не мог все же избавиться от мысли, что нейтрон должен в конечном счете состоять из протона и электрона. При этом возникала аналогия между взаимодействием в системе нейтрон - протон и взаимодействием атома водорода и протоном. Эта-то аналогия и привела его к заключению, что должны существовать обменные силы взаимодействия между нейтроном и протоном, которые аналогичны обменным силам в системе $H - H^+$, обусловленным переходом электрона между двумя протонами. Данное предположение оказалось конструктивным, и позднее было все-таки доказано существование обменных сил взаимодействия между нейтроном и протоном, хотя ими не исчерпывалось полностью взаимодействие между двумя частицами... Но, следуя все той же аналогии, В. Гейзенберг пришел к заключению об отсутствии ядерных сил взаимодействия между двумя протонами и к постулированию отталкивания между двумя нейтронами. Оба последних вывода находятся в противоречии с данными более поздних исследований”.

И, наконец, последний тип классификации Р. Пайерлса.

Тип 7: *Мысленный эксперимент* (главное состоит в опровержении возможности). Великим мастером мысленного эксперимента был А. Эйнштейн. Один из первых таких экспериментов придуман им в ранней юности и привел в конце концов к созданию специальной теории относительности. Вот этот эксперимент. Если бежать за световой волной со скоростью света, а правила сложения скоростей - классические, то в движущейся системе отсчета мы будем наблюдать периодически меняющееся в пространстве и постоянное во времени электромагнитное поле. Согласно принятым законам электромагнетизма этого быть не может. Следовательно, либо законы зависят от системы отсчета, либо скорость света не зависит от системы отсчета. Вывод вроде бы тривиальный, а от его осознания как проблемы до специальной теории относительности не так уж далеко.

А вот и тип 8, широко распространенный в математических моделях биологических систем.

Тип 8: *Демонстрация возможности* (главное - показать внутреннюю непротиворечивость возможности). Модели этого типа тоже состоят в мысленном эксперименте, но если в случае типа 7 (опровержение

возможности) проводился эксперимент с более или менее реальными объектами (луч света, например), то для типа 8 это не обязательно, хотя, конечно, желательно. Главное здесь - демонстрация того, что предполагаемое явление не противоречит основным принципам и внутренне непротиворечиво.

Нам проще привести пример не из физики, а из химии, где модели этого типа встречаются чаще. Оно и понятно - многообразие химических систем огромно, и если показана непротиворечивость возможности, появляется надежда на обнаружение этого явления в действительности.

Не так давно обнаружено интереснейшее явление - *химические колебания*. Оно очень красиво не только как факт науки, но и само по себе, в прямом смысле. Представьте: пробирка, в которой идет реакция, периодически меняет цвет, по ней бегут цветовые волны. О драматической судьбе этого открытия рассказано в хорошей популярной статье [114], не будем здесь ее пересказывать.

Как только это открытие дошло до сознания того, что называется научной общественностью, лавиной стали появляться работы, демонстрирующие возможность интересного поведения химических систем (в том числе - колебаний) на умозрительных моделях (тип 8). Строятся они так. Задается "список вещества" - буквы *A, B, C, ...* Предлагается список идущих между ними "реакций", например, $A + B \rightarrow C$, $A \rightarrow B$, $2B \rightarrow C, ...$ Исследуется такая "химическая система", демонстрируется, что в ней могут быть колебания разных типов, волны и др. Таким способом создается "зоопарк возможностей" (чаще применяется термин "зоопарк моделей"). Этот зоопарк - очень нужное заведение, но, с другой стороны, понятно, что его можно умножать до бесконечности (увеличивая тем самым число своих статей в модной области). Начиная с некоторого момента становится очевидным, что работы, посвященные пополнению зоопарка, "обречены на успех". А это уже не соответствует идеалам науки.

Перечислено восемь типов моделей. Каждую встречающуюся далее модель мы будем пытаться отнести к одному из них. Это не всегда просто по двум причинам: в классификации учитывается субъективный момент - отношение исследователей к модели и, кроме того, нет абсолютно четких граней между типами. Но цель наша и не состоит в однозначной привязке моделей к их типам (как коз к колышкам). Просто полезно задуматься о месте той или иной работы, а это удобно делать, помещая ее в клеточку достаточно подробной классификации.

Правильное определение места модели важно хотя бы потому, что позволяет избежать многих бесполезных дискуссий. Споры часто вызываются либо тем, что модель не объясняет того, что хочется оппоненту (но что она и не должна объяснять), либо неоправданными

претензиями автора на решение тех вопросов, на которые модель ответить не в состоянии.

Обратите внимание: не во всех примерах Р. Пайерлса речь шла о математических моделях - уравнениях, но всюду он полагает модель построенной, если можно начать писать уравнения и находить ответ. В центре внимания были этапы, предшествующие вычислениям.

Итак, 8 типов моделей. Перечислим их.

1. Гипотеза (такое могло бы быть).
2. Феноменологическая модель (ведем себя так, как если бы).
3. Приближение (что-то считаем очень малым или очень большим).
4. Упрощение (опустим для ясности некоторые детали).
5. Эвристическая модель (количественного подтверждения нет, но модель способствует более глубокому проникновению в суть дела).
6. Аналогия (учтем только некоторые особенности).
7. Мысленный эксперимент (главное состоит в опровержении возможности).
8. Демонстрация возможности (главное - показать внутреннюю непротиворечивость возможности).

Эти 8 типов суть 8 исследовательских позиций при моделировании. В предыдущей главе давалось идеализированное описание моделирования: выбирается идеальный объект из тех, что охватываются теорией, и сопоставляется объекту реальному. Соотнеся эту схему с классификацией Пайерлса, приходим к странной ситуации. Совпадения почти никакого! Разные типы моделей при малейшей попытке критики смешиваются между собой. Достаточно опереться на четыре тезиса:

1. Модель никогда не бывает полностью идентична реальному объекту.
2. При построении любой модели обычно не учитываются какие-нибудь уже известные (воспринимаемые) стороны реальности.
3. При построении и использовании модели всегда так или иначе применяются умозаключения по аналогии - а как иначе можно пройти путь от реального объекта к идеальному и обратно?
4. При построении модели всегда мысленно "проигрывается" существование (движение, поведение, функционирование) идеальных объектов в возможном мире. Здесь есть место мысленному эксперименту и демонстрации возможности.

Эти тезисы на первый взгляд не согласуются с классификацией. Первый из них приходит в противоречие с первым типом моделей: реальность не может совпадать с моделью, поэтому предположение "такое могло бы быть" никогда не выполняется. Пример с моделью Коперника вызывает сомнения. В ней (по крайней мере, в ее первой формализации И. Ньютоном) совсем не учитывают такие детали, как взаимодействие и

конечные размеры планет. Трудно предположить, что последняя деталь была кому-нибудь известна.

Итак, первые шесть типов сливаются, а 7-й и 8-й предстают как необходимые этапы любого моделирования.

Но не будем поспешны. *Презумпция осмысленности*⁵ - один из руководящих принципов понимания. У нас нет оснований, из которых исходил Р. Пайерлс в своей классификации. Попытаемся их воссоздать.

Руководствуясь презумпцией осмысленности, человек не очень рискует. Если удастся переосмыслить и обосновать исходно неосновательный текст, то тем лучше - почти из ничего возникло новое знание. А вот отбрасывание чужого положения “с порога” из-за отсутствия у себя достаточных для него оснований может сильно обеднить культуру как отдельных людей, так и сообщества, в котором прививается эта норма - нарушение презумпции осмысленности. Последнее - самое опасное.

В случае с Р. Пайерлсом можно быть точно уверенным - основания есть. Но в физике XX века считается неприличным обнажать философско-методологические основания. Это дозволяется только великим: Н. Бору, А. Эйнштейну... Тем не менее, попробуем понять.

В статье Р. Пайерлса есть пример, не укладывающийся в идеализированную схему “теория - модель - объект”. Это - модель Гейзенберга для ядерных сил. Теории, претендующей на описание ядерных сил, тогда не было. Способ представления объекта В. Гейзенберг позаимствовал из имевшихся моделей взаимодействия протона с атомом водорода. Эту модель он подправил, чтобы приблизиться к опытным данным. Можно, конечно, сказать, что объемлющей теорией была квантовая механика. И так, и не так. В описании атома водорода и его взаимодействия с протоном участвует еще один раздел теоретической физики - теория электромагнетизма. Для ядерных сил такой теоретический отдел отсутствовал.

Попробуем выдвинуть гипотезу о причине, по которой классификация Р. Пайерлса не согласуется с теми представлениями, что изложены в предыдущей главе. Там была представлена прозрачная картина. В ней каждой теории сопутствуют способы конструирования идеальных объектов. С помощью этих идеальных объектов совершаются два важных дела: представляются реальные объекты и конструируются возможные миры.

Так вот, физика по Р. Пайерлсу не состоит из одной или нескольких фиксированных теорий, оснащенных всеми необходимыми дополнениями. Р. Пайерлс - физик, на глазах у которого и при его участии протекало

⁵ Принцип, согласно которому каждое положение должно считаться осмысленным и имеющим основания, пока скрупулезно не показано обратное. Название выбрано по аналогии с важнейшим юридическим принципом - презумпцией невиновности.

несколько великих переворотов в науке. Можно задаться вопросом: в чем позиция такого физика должна отличаться от воззрений логика, профессиональное занятие которого - анализ имеющегося упорядоченного знания, возможных миров и тому подобного?

Различия почти выводимы⁶. Логик, скорее всего, будет выделять наиболее упорядоченные, установившиеся четы науки, а такого физика будут притягивать горячие точки науки, в которых она перестраивается; в его рассуждениях всегда будет присутствовать идея постоянно обновляемой науки.

“Я считал бы предательством по отношению к науке, если бы согласился зафиксировать твердо что-либо в этой области науки, где еще не все ясно” (Нильс Бор [17, с. 92]).

“Закон не может быть точным хотя бы потому, что понятия, с помощью которых мы его формулируем, могут развиваться и в будущем оказаться недостаточными. На дне любого тезиса и любого доказательства остаются следы догмата непогрешимости” (Альберт Эйнштейн [122, с. 143]).

Здесь воззрения крупных физиков неожиданно сближаются с взглядами видных теоретиков искусства: “парадоксальное явление - незавершенность способствует сплоченности и непрерывности, тогда как завершенность разрушает эти качества” (Р. Арнхейм [7, с. 126]). Это - о живописи, а вот рассуждение, навеянное анализом творчества Ф.М. Достоевского: “...нельзя превращать живого человека в безгласный объект заочного завершающего познания. В человеке всегда есть что-то, что только он сам может открыть в свободном акте самосознания.. нечто внутренне незавершенное” (М. М. Бахтин [10, с. 77-79]).

Именно в этой незавершенности развивающейся физики и ее миров мы видим источник несогласуемости классификации Р. Пайерлса с простыми логическими схемами “теория - модель - объект”. И понять эту классификацию сможем только тогда, когда положим незавершенность науки в самое основание рассуждений. В результате внимание будет сосредоточено на деятельности по развитию науки и во всех рассуждениях будет явно присутствовать или неявно маячить фигура деятеля, позиция которого и служит основанием для отнесения моделей к типам классификации Р. Пайерлса.

Легко представить идеальные объекты и миры, соответствующие механике или любой другой физической теории. Можно приложить больше усилий и попытаться вообразить себе неоднородные миры из идеальных объектов, соответствующих разным теориям (например, из твердых тел, жидкостей, газов, плазмы и частиц). Здесь важным

⁶ И логики-эпистемологи (“знаниеведы”), и физики бывают разными. Здесь речь идет о внутренней логике профессиональных позиций.

организующим началом может являться идея о существовании фундаментального уровня описания и потенциальной представимости всего с помощью идеальных объектов фундаментального уровня (например, частиц). Можно попытаться обойтись и без этой идеи - ведь ее реальное проведение требует, как минимум, логического всеведения.

Что же такое идеальные объекты и возможные миры развивающейся физики? Возникает представление о принципиально неполных списках идеальных объектов и способов их конструирования. Возможный мир теперь не может быть просто подробным представлением о возможном положении дел. Это представление должно быть принципиально незавершенным. Неполнота и незавершенность даже в предположении логического всеведения! Это что-то новое.

Незнание не означает, что допускаются любые возможности. Традиции и идеалы данной науки *накладывают рамки* на способы рассуждения.

Простейший пример: рассуждения об объектах физики как об искусственных образованиях, структура которых отвечает некоторому предназначению - цели, отвергаются. Они противоречат не просто какой-нибудь физической теории, а глубже - науке физике. Эти рассуждения не входят в рамку.

В рамках биологии, напротив, такие рассуждения допускаются, но обязательно под аккомпанемент. Чаще всего им служит обсуждение дарвинистского естественно-исторического обоснования целесообразности через динамику. Вспомните: закон шага вместо закона цели. Увы, слишком часто такое обоснование требует в конкретных случаях чего-то вроде логического всеведения. Реже аккомпанементом является отрицание возможностей такого обоснования, исходящее из отсутствия во многих конкретных случаях подробно доказанных построений. Все эти идеологические дискуссии порою сильно смахивают на звон панурговых жетонов.

Традиции и идеалы подвижны и сами. Рамка со временем меняется. То, что впишется в нее сегодня, может не войти завтра, и наоборот, завтрашняя рамка может допускать то, что останавливает сегодняшняя. Так, светоносный эфир отвергнут физикой не просто как ошибочное предположение, а как лишняя сущность, наличие которой не отражается ни на чем, доступном эмпирической проверке. А удерживался он ранее из-за убеждения в необходимости механического носителя колебаний. Рамку изменили - и нет эфира.

Прекрасный пример, который можно истолковать как изменение рамки и появление новых объектов, дан в сказке Э. Успенского и популярном мультфильме о Чебурашке. В начале сказки бедный Чебурашка, ни к какому виду не относящийся и не попавший даже в

энциклопедический словарь, жалобно спрашивает: “А если вы не будете знать, кто я, вы не будете со мной дружить?” Его ласково-снисходительно утешают. Но стоило заикнуться Чебурашке в конце сказки о том, что он неизвестно кто (“необрамленный”), как тут же последовал ответ: “Хотел бы я быть таким неизвестно кем, Чебурашка!”

Если акцентировать внимание на процессе исторического развития науки, то каждый факт, модель, гипотеза должны оцениваться по их роли в этом процессе. В момент их появления должен создаваться и оцениваться проект роли. В каждый момент осмысления, которые дискретно расположены в непрерывной истории, должны оцениваться текущая роль и проектироваться ее изменения. Для всякой единицы научного знания важны способ порождения и место в исторически развивающейся системе, способность порождать новое и возможность собственной трансформации.

Модель первого типа, модель-гипотеза (“такое могло бы быть”) претендует на то, чтобы длительное время быть моделью данного объекта и порождать по аналогии модели в чем-то аналогичных объектов. Она должна быть включена в совокупность идеальных объектов на полных правах. Это, а не осуществимость в реальности, означает пояснение к ней.

“Такое могло бы быть” - следовательно идеальный объект может полноправно занимать свое место в возможных мирах. Ретроспективное (задним числом) отнесение модели к первому типу означает, что она свою функцию выполнила (выполняет).

Еще одно свойство, ожидаемое у моделей первого типа. Они должны становиться идеальными объектами при теории, которая обязана иметь статус фундаментальности. Функционировать она при этом будет по идеализированной схеме из предыдущей главы: “теория - модель - объект”.

Сама фундаментальная теория к моменту построения модели не обязана существовать. Так было с моделью Коперника - механика Ньютона и закон тяготения были созданы позднее. В подобных случаях модель-гипотеза это тот камень, с которого начинается постройка нового теоретического здания.

Модель второго типа намного жестче привязана к конкретному объекту. Ей неохотно дается право порождать по аналогии модели других объектов. Феноменологическая (по Р. Пайерлсу) модель обычно не функционирует по схеме “теория - модель - объект”. Она служит упорядочению эмпирических данных об объекте, предсказанию его свойств. Эти модели часто сопровождаются естественным вопросом: как осуществить редукцию (сведение) к моделям типа 1, как схватить ту же эмпирию с помощью полноправного идеального объекта?

Модели трех типов, от 3-го до 5-го, объединены идеей упрощения. Сюда входят приближение (тип 3 - “что-то считаем очень малым или очень большим”) и более грубое качественное упрощение (от “кое-что отбросим” - тип 4, до “кое-что оставим” - тип 5).

Всякая модель упрощает реальность, не так ли? Но не всегда в построении модели встречается процедура упрощения. Противопоставляются два пути. Путь Коперника и Галилея: в основу кладется структура, ясно и грубо соответствующая представлению физика об объекте. Потом ее можно уточнять, дополнять неучтенными подробностями и т.д., но первое действие не является отбрасыванием деталей в имеющейся (мыслимой) картине. Детали просто не берутся, потому что пока нет средств их взять, и первая модель доставляет одно из необходимых средств. Надо знать, что дополнять деталями.

Конечно, у автора модели могут быть мысли о существенном и несущественном, внутреннем (принадлежащем объекту) и внешнем (порождаемом окружением), он выбирает. Однако выбор не есть упрощение имеющегося идеального целого - того еще нет. Главное действие - конструирование.

Когда имеются основные конструкции и появляются способы учета и удержания деталей, возникает другой путь - собственно упрощение. Теперь детализированное и богатое целое существует не только в реальности, но и в идеализированной действительности науки. Для возможности оперирования приходится упрощать. Об этом действии говорит Р. Пайерлс, обсуждая модели 3-5-го типов.

На втором пути снова могут возникнуть те же уравнения, что и на первом. Но в истории это будет другая модель. Отличаться они будут способом порождения, фоном, на котором это порождение происходит, и функцией. Пример - закон Ома. Сейчас он для нас - простая модель линейного отклика, применяющаяся тогда, когда вольт-амперную характеристику (зависимость постоянного тока от напряжения) можно полагать линейной в рассматриваемом диапазоне напряжений. Но когда Г. Ом выполнял свою работу, пользуясь аналогией электрического тока и потока тепла, не существовало еще понятий, в которых работаем мы, критикуя его закон. Первый шаг был сделан Г. Омом в 1827 г. Его модель в момент создания следует, вероятно, отнести к первому типу. Интересно, что признаны закон Ома и те понятия, в которых он формулируется, были не сразу - потребовалось более десяти лет.

Строя модели типов 3-5 исследователь имел перед собой как бы две действительности: тот реальный объект, к которому будет относиться модель, и идеальную действительность, в которой этот объект уже схвачен (или может быть схвачен) но в виде, недоступном для оперирования. Чтобы осознать различие между 3-м и 4-5-м типами, нам приходится

вводить еще третий пласт - формальный, математический - пласт записанных уравнений.

Введение третьего класса означает, что отныне мы открыто признаем две формы существования модели: качественная схема объекта и результат разворачивания этой схемы до детальной системы уравнений. В научной деятельности тогда нужно выделить методы такого развертывания.

Модель Коперника можно сформулировать словами: планеты обращаются вокруг Солнца по своим орбитам, - а можно использовать механику Ньютона и закон тяготения и записать уравнения движения планет и Солнца как взаимно тяготеющих масс. Эта система - новый идеальный объект. Когда упрощают ее, основываясь на предположениях о количественных соотношениях слагаемых, то получают приближение - модель 3-го типа (что-то считаем очень малым или очень большим). Когда упрощают модель еще на стадии написания уравнений, получают модели 4-го или 5-го типов. Можно получить разными путями одну и ту же систему уравнений. Различия между путями становятся особо существенными тогда. Когда практически невозможно выписать уравнения до упрощений, если исходить из действительности фундаментального уровня. Модели типов 4 и 5 не являются приближением так же, как модели типа 1 - обычным упрощением; не производилось таких действий - и все.

Люди нашего времени склонны недооценивать древних мыслителей, особенно таких, как софисты. А ведь они, например, ясно выразили идею о том, что отсутствие детали не всегда является результатом ее отбрасывания или утери, сформулировав это в характерной для софистов афористически-ироничной форме: “Что ты не терял, то имеешь. Рога ты не терял. Значит, у тебя есть рога”.

Перейдем к моделям типа 6. Это - откровенные аналогии, не имеющие часто достаточных теоретических оснований. Они - первые шаги в неизвестное, мостки к моделям - гипотезам. Убедившись в результативности такого шага, ученый может обращаться с ним как с моделью первого типа. В случае же неудачи все равно будет получено знание, полезное для функционирования науки. В частности, эти модели дают возможности ставить эксперименты. Тут место для большого вопросительного знака: неужели для эксперимента нужна модель? Чтобы ответить на этот вопрос, введем различие эксперимента и опыта.

Как главное выделим такое отличие: *эксперимент* решает вопросы, разрешает дилеммы, *опыт* получает знания о явлениях и процессах, давая их описание. Продукт эксперимента - подтверждение или опровержение теоретического знания, аккумулированного в моделях, продукт опыта - описание, эмпирическое знание, которое с современной точки зрения

представляет собой материалы к размышлению⁷. Теория, вооруженная моделированием, ставит вопросы эксперименту, а для опыта предоставляет средства описания. И нужны здесь разные теории.

От Аристотеля до Леонардо да Винчи ставилось много опытов по изучению падения. Исследовались эмпирические зависимости времени падения от веса (вопреки вульгаризаторскому мнению о том, что древние не ставили опытов). Но из этих эмпирических зависимостей нельзя было вывести механики [116].

Эксперимент и современная теоретическая смелость начались с Галилея. Шутка ли - заявить, что все тела падают одинаково, когда это очевидно не так. А основанием для заявления служили в первую очередь эксперименты мысленные, приводившие воззрения о зависимости времени падения от веса к парадоксам.

Попробуем поставить такой мысленный эксперимент. Одинаковые тела падают одинаково. Опыт первый: возьмем два одинаковых тела и одновременно отпустим их с одинаковой высоты. Расстояние между ними со временем меняться не должно - они падают одинаково. Соединим теперь эти тела бечевкой, легким стержнем или еще чем-нибудь подобным. Получили единое тело вдвое большего веса. Оно должно падать быстрее (по имеющимся теоретическим представлениям). С другой стороны, наличие ненатянутой бечевки вряд ли может оказать существенное воздействие на время падения. Наконец, также кажется нереалистичным, что падающие на некотором расстоянии друг от друга тела нельзя считать отдельными.

Итак, столкнулись разные знания, и уже почти очевидно, что не существует простой связи веса и времени падения. Теперь можно пойти на башню и проверить, повторить мысленный эксперимент в натуре: взять два одинаковых тела, бросить их по отдельности и одновременно, связывая и не связывая.

Мысленный эксперимент сталкивает различные знания, образуя парадоксы. Яркий пример - приведенный ранее мысленный эксперимент А. Эйнштейна с бегом за световой волной. С одной стороны, при переходе к состоянию прямолинейного движения ничего не должно меняться. С другой - застывшая электромагнитная волна невозможна в нормальных условиях. Электромагнетизм вступает в противоречие с принципом относительности. Нужно разрешение противоречия. Оно и было дано.

Важная деталь: в мысленных экспериментах А. Эйнштейна часто конкретные знания (в этом примере - законы электромагнетизма) сталкивались с более широкими концептуальными - “рамочными”

⁷ Существуют и другие варианты словоупотребления, например, вместо оппозиции “опыт - эксперимент” рассматривают противопоставление “наблюдение - эксперимент”, считая эксперимент активным, а наблюдение пассивным.

представлениями (здесь - принципом относительности). Критикуя квантовую механику, А. Эйнштейн постоянно сталкивался с рамочными представлениями о физической реальности, сложившимися в классической физике, с зарождавшейся новой физикой. Новая рамка многим обязана этой работе А. Эйнштейна.

Если в мысленном эксперименте получен парадокс, значит надо что-то менять. Парадокс - еще одно достаточное основание для перестройки (первое, как Вы помните, наличие альтернативной теории, более успешно производящей модели).

Построение модели - демонстрации возможностей может быть метафорически охарактеризовано как обживание возможного мира. Эти модели важны как фон опыта и эксперимента. Они обслуживают построение моделей для объектов реального мира, служа как бы кирпичиками в этой стройке. Можно усмотреть и другие функции. Некоторые физики несомненно почтут главным угадывание явления до его эмпирического обнаружения. Именно угадывание на простой схеме, а не предсказание, поскольку пока реального объекта нет, есть только непротиворечивая возможность. Ее надо еще реализовать и простая схема будет руководить этой реализацией сама, обрастая деталями по дороге.

Классификацию мы попытались понять, рассматривая концептуально открытый мир развивающейся физики. Возможен ли иной подход к моделированию? Конечно. Точка зрения математиков - прикладников, например, не будет совпадать с воззрениями физиков, но не обязательно будет им противоречить. В двух не так давно вышедших книгах известных специалистов сделана попытка систематически исследовать сам процесс применения математики к естествознанию и технике [14, 15].

А вот еще одна область моделирования, порожденная насущной необходимостью. Деятельность человечества стала фактором планетарного масштаба. Уже сейчас действия, предпринимаемые человеком, оказывают сильное воздействие на биосферу и климат. Возникла потребность предсказывать последствия там, где прямое экспериментирование невозможно [74]. Построены модели биосферы и климата, экономики и даже мира в целом [106]. Существуют и менее глобальные модели, например, отдельных морей и городов - региональные модели. Вся эта важная область знания и деятельности называется *имитационным моделированием*. Она объединяется не фундаментальными концепциями, "опрокидываемыми" в объект (как физика), а техникой и даже технологией построения моделей. В биологии и теории эволюции, несомненно, есть пространство для применения имитационного моделирования, например, разыгрывание эволюционных сценариев.

Зачем вообще нужны модели? Из всего множества функций, которые они могут выполнять, выделим сейчас две. Модели служат в процессе

исследования заместителями отдельных объектов из нашей практики и являются как бы аккумуляторами знаний об этих объектах. С помощью моделей (особенно - динамических) можно имитировать функционирование и прогнозировать будущие свойства объектов или их свойства в новых, ранее эмпирически не описанных ситуациях. Моделирование служит частичной заменой сбору эмпирического знания, сокращая число необходимых опытов и наблюдений. Оно же является основой эксперимента. Все это можно рассматривать как проявление одной функции: соответствовать отдельному объекту.

С другой стороны, модели выполняют особую смыслообразующую роль в системе научного знания. Это та же функция соответствия объекту, только по-другому развернутая. Смысл образуется в процессах понимания, которые всегда в конечном итоге связаны с внеязыковой деятельностью. Этот аспект “понимания понимания” является дополнительным к рассмотренному в первой главе. Там мы подчеркивали, что в своем итоге понимание предполагает умение обосновывать, объяснять и использовать понятое. Здесь же подчеркивается, что в процессе понимания необходимо обращение к действительности и внеязыковой деятельности.

Крайним выражением этой точки зрения является доктрина *операционализма*: каждому понятию должны соответствовать процедуры измерения (для количественно выражаемых свойств) или обнаружения, каждому высказыванию должно поставить в соответствие процедуру эмпирической проверки - иначе оно бессмысленно. Эта доктрина в чистом виде нежизнеспособна - ведь такие важные для науки положения, как евклидовость или неевклидовость геометрии мира или принцип относительности, а также первый закон Ньютона (принцип инерции) и многое другое не допускают экспериментальной проверки. На непосредственный суд эксперимента выносятся модели, а заложенные в них основные принципы подлежат обычно не доказательству или опровержению, а “частным определениям” (если пользоваться юридическим языком) об успешности или безуспешности моделирования на их основе. Это хорошо понимал А. Пуанкаре [83].

Доктрина операционализма тем не менее полезна как предельное и карикатурно ясное выражение важной особенности образования смысла - обращения к действительности. Инструментом такого обращения служат модели (их функция - соответствовать отдельным объектам). Поэтому осмысление теоретических положений ведет к моделированию на их основе. Вне этой деятельности смысл представляется обедненным.

Проиллюстрируем то, как необходимо обращаться в ходе понимания к действительности на далеко не физико-математическом примере. У какого животного следы передних лап находятся позади следов задних? В любой аудитории больше половины присутствующих сразу ответят: у

зайца. А так ли это? Рассмотрим цепочку заячьих следов: - ... - задние лапы - передние лапы - задние - передние - задние - передние - ... И перед следами задних лап - следы передних, а после следов задних лап следы передних. Немного подумав, можно сообразить, что у любого четвероногого следы передних лап находятся позади следов задних в таком смысле: в цепочке следов найдется немало следов передних лап, ближайший к которым след спереди оставлен задней лапой. Исключение - те цепочки, где задние лапы ставились в следы передних. А чем же вызван ответ “заяц”? тем, что у зайца в прыжке лапы перекрещиваются и задние оказываются впереди передних. Как ни странно, вопрос о следах с предполагаемым ответом “заяц” кочует по детским викторинам.

Эффект ложного понимания: фраза вызывает обращение совсем не к той действительности, к которой она формально относится - образ прыгающего зайца заслоняет цепочки следов. Такое двойное наполнение - не редкость. Мы еще не раз столкнемся с “эффектом зайца” в теоретико-эволюционных рассуждениях. Будут, в частности, разобраны фразы: “Естественный отбор действует на фенотипы”, - в следующей главе, а “Естественный отбор - единственный направленный фактор эволюции”, - в главе “Изменчивость”.

Последний вопрос о классификации Р. Пайерлса: нельзя ли ее улучшить? Конечно, можно. Она проведена по сложному (составному) основанию - по отношению модели к реальности. Поэтому для понимания потребовалась длительная дешифровка. Теперь мы могли бы отбросить исходную классификацию и на основе выработанного понимания строить новую, более аккуратную. Но стоит ли? Предлагаем остановиться здесь.

Имеет ли приведенный разбор отношение к биологии? Нередко приходится слышать и читать, что физика находится в лучшем положении, чем биология. При этом указывается, что объекты физики проще, менее индивидуальны и это позволяет изучать явления, воспроизводимые с высокой точностью. Тем и объясняют, что в количественном, математическом описании своих объектов и предсказании их свойств физика достигла гораздо большего успеха, чем биология.

Начнем обсуждать эту точку зрения с конца. Неспециалисты часто преувеличивают область применимости в физике точных количественных предсказаний, исходящих из основных принципов. Тут важно уточнить, о какой области идет речь. Если о механике движения недеформируемых или слабо деформируемых твердых тел, то да - тут многое можно сосчитать, возникающие трудности имеют обычно математический характер - модели сами по себе достаточно точны и обозримы. Если идет речь об атоме водорода - то снова да. Но моделирование физических свойств твердых тел и жидкостей, и даже достаточно сложных атомов и молекул невозможно с такой точностью. В масштабах всей физики область

точных теоретических предсказаний не очень велика, хотя, конечно, и значительнее, чем в биологии.

Количественный язык и модели используются значительно шире. Почти вся физика (да что там “почти” - вся) пользуется этим языком. Неважно, что мы не можем вычислить удельную электропроводность меди из “основных принципов”. Гораздо важнее, что мы можем ее измерить и использовать полученное число далее, в простых моделях типов 3-5.

Хорошая воспроизводимость явлений, повторимость эксперимента - необходимое условие для применения количественного метода. Если же детали не воспроизводимы, система сверхчувствительна к внешним воздействиям (иногда может даже показаться, что ее поведение зависит от настроения экспериментатора, хотя, конечно, наоборот), то может изучаться явление “воспроизводимой невозможности”. Большое достижение физиков - выделение воспроизводимых эффектов из хаоса мелких деталей, которые могут складываться в неповторимую картину. Но это - достижение, к нему надо стремиться. В биологии тоже есть замечательные примеры воспроизводимости, скажем, менделевское расщепление гибридов гороха 3:1 (подробнее об этом см. в главе “Модель Менделя - Иоганнсена”).

Объекты физики не всегда индивидуальны. Электроны, например, даже более чем одинаковы. Они тождественны. Про электроны нельзя сказать: это первый, а это - второй. Но вот кристаллы во многих отношениях индивидуальны. Это хорошо известно ювелирам и физикам.

Если колоть двумя камнями орехи, то при близкой форме, достаточной твердости и приблизительно равной массе эти камни предстанут перед нами как одинаковые. Но если изучать тонкие свойства, то добиться повторимости сложно, а сразу во всех важных деталях часто невозможно. Тут особенное значение приобретает вопрос: а что может меняться не слишком сильно?

И, наконец, о сложности объектов биологии. Сложность, понимаемая как трудность изучения, весьма относительна. Обычно сложен тот вопрос, для решения которого нет подходящих средств. Сложность в этом смысле = отсутствие развитой техники исследования. Решенная проблема часто кажется простой.

Центральный тезис книги, выдвинутый и сразу подвергнутый сомнению в первой главе, используется в двух следующих главах почти без изменения. Он послужит нам средством для построения мира, в котором “все по Дарвину”, и для изготовления моделей - кирпичиков - “отбор по признаку”, из которых достраиванием, детализацией и сборкой конструируются основные модели эволюционных процессов.

Мир, в котором “все по Дарвину”, - мир Дарвина принципиально открыт. В нем много проблем и незнания. Модели “отбор по признаку”,

напротив, задаются предельно жестко и определенно. В нашем изложении конструирование открытой, незавершенной действительности дарвинизма⁸ предшествует более формализованным частям затем, чтобы иметь возможность разбирать простые модели на фоне более богатой действительности. С другой стороны, и модели в свою очередь меняют наши представления о целостном мире, давая инструмент для его разборки.

Вновь подчеркнем центральный тезис: коэффициент размножения в данных условиях - единая мера оптимальности.

⁸ Следует обратить внимание на то, что понимание термина “дарвинизм” может быть различным и наш взгляд на учение Дарвина может не совпадать с представлениями других авторов.

МОДЕЛЬ ДАРВИНА

Дарвинизм - картина мира в биологии. Биосфера и ее генофонд. Проблема организма. Трехмерная среда. Расстояние между генотипами. Иерархичность генофонда. Радиус скрещивания и брачные предпочтения у дрозофилы. Динамическое объяснение иерархичности. Проблемы происхождения высших таксонов. Восстановление истории и вымирание динозавров. Сама модель. Что иерархично?

Можно ли построить модель, описывающую “все, как есть”? Такая модель, во-первых, невозможна, а, во-вторых, не нужна. Ее нельзя ни записать, ни исследовать. Но все же мы часто рассуждаем так, как будто это возможно, представляя, например, механическую Вселенную как совокупность взаимодействующих частиц. Мало кого смущает, что полное описание состояния Вселенной, как координат и скоростей частиц, например, просто негде будет записать - грубо говоря, оно должно содержать столько же информации, как вся Вселенная.

Тут приходит на ум давний парадокс: невозможно составить полное описание листа бумаги на нем самом, так как первая же буква, начертанная на листе, изменит его и в свою очередь потребует описания. А еще вспоминается стишок: “У попа была собака...”

Представления о “возможном положении дел”, тем не менее, систематически используются. Новые знания мы отправляем в эти возможные миры и там согласуем со старыми (в пределах возможностей).

Существуют различные мнения о том, что является главным вкладом Ч. Дарвина в биологию. Сюда входит объяснение целесообразности, детальная разработка идей об эволюции и естественном отборе и многое другое. Нам кажется, что с работами Ч. Дарвина в биологию пришла новая “картина мира” - и это самое главное. Большая часть фрагментов этой картины была известна и раньше, но как цельная, единая точка зрения на всю биологию она сложилась у Ч. Дарвина.

Идея эволюции в биологию была введена не Ч. Дарвином. До этого построил эволюционную теорию Ж. Ламарк. Генетики не знали ни Ламарк, ни Дарвин. Изменение пород за счет отбора было открыто за тысячелетия до Ч. Дарвина. Центральная идея: **в природе дело обстоит так же**. Это умозаключение по аналогии связывает эволюционную идею, идею наследственности и опыт селекции. Отсюда возникают динамические модели эволюции как отбора наследуемых вариаций и образуется единая естественно-научная картина. Для заключения о том, что “такое могло бы быть”, она не требует дополнительной мифологии, никакого ламаркистского “стремления к совершенству”. Все ясно и просто

- даже слишком просто. И проблема переносится на детали: в принципе-то так могло быть, но как оно было? Достаточны ли темпы изменчивости? Могла ли она вместе с естественным отбором (т.е. различиями в коэффициентах размножения) обеспечить имевшийся темп эволюции? И так далее.

Научное общественное мнение - одно из самых придирчивых и консервативных. Оно не раз отвергало разумные идеи, если какая-нибудь деталь была недоработана. Сочинения Ламарка считались до Дарвина несерьезной полунаучной фантастикой. Тщательная проработка Ч. Дарвином своих идей, доведение их до построения картины мира живого плюс его репутация вдумчивого натуралиста сильно способствовали тому, что теория была... нет, не признана (она была признана не сразу и не всеми), а принята всерьез, как то, о чем следует думать и говорить. Быстро появились горячие сторонники и не менее горячие противники - теория зажила своей жизнью.

В этой главе мы попытаемся описать то, что нам кажется моделью Дарвина - той моделью, которая описывает "все как есть", никогда не будет построена в деталях, но зримо или, чаще, неявно присутствует в рассуждениях об эволюции.

Наибольшую сложность в формализации идей Ч. Дарвина создает отсутствие у него определенной точки зрения на наследование. Одни полагают, что Ч. Дарвин здесь был близок к Ламарку. Да, наследование признаков, приобретенных в силу условий жизни, не отрицалось в работах Ч. Дарвина, а вот значение результатов упражнения вызывало у него сомнение, хотя тоже категорически не отвергалось. Другие приближают его к современной точке зрения. Высказывания Ч. Дарвина, разбросанные по его знаменитой книге [38], убеждают в том, что он не знал механизмов наследования и хорошо знал, что он этого не знает. Ч. Дарвин придумал свои (неудачные) схемы наследования, но это не означает, что он относился к ним, как к реальности. Скорее, это были пробные ходы в неизвестное.

Невозможно представить себе картину мира в биологии, не учитывающую явление наследования. Даже при поверхностном взгляде становится ясным, что каждое живое существо что-то получает от предков, а какие-то другие свойства зависят больше от условий жизни. Что получено от предков? На этот вопрос даже сейчас можно давать различные ответы. С одной стороны есть гены - те гены, которые изучает генетика. А на сколько поколений простирается в естественных условиях такой негенетический (с точки зрения молекулярной биологии) эффект, как связанное с составом рациона влияние химизма родительского организма на потомство? У насекомых оно может быть сильным и продолжаться несколько поколений. Детальнее мы рассмотрим вопрос о

наследовании в соответствующей главе, а пока постараемся сформулировать как можно более гибкую точку зрения. Не будем бояться возможности охватить и неправильные частные случаи. Главное для нас здесь - не упустить правильные, построить разумную рамку.

В первом приближении можно сказать: наследуется программа построения фенотипа и норма его реакции на изменения окружающей среды. Б. М. Медников выдвигает в качестве “первой аксиомы биологии” следующее утверждение: “Все живые организмы должны быть единством фенотипа и программы для его осуществления (генотипа), передающегося по наследству из поколения в поколение” [72, с. 30].

Очень удобно использовать такие формулировки в качестве отправных точек, с тем, чтобы в ходе рассуждения их критиковать и перестраивать. Вероятно, в этом и может состоять роль “аксиомоподобных” построений в биологии. В математике, напротив, аксиомы в рамках одного исследования стоят незыблемо⁹). И только в историческом движении формальные основания математики - определения и аксиомы - критикуются и перестраиваются, как убедительно показал И. Лакатос [59]. Функции аксиом современной математики и “аксиом” биологии различны.

Сформулированная “аксиома” может быть уточнена. Мы полагаем, что такое уточнение уместно. Генотипы (программы), строго говоря, не передаются из поколения в поколение. При двуполом размножении в создании генотипа особи участвуют, по крайней мере, два генотипа - отца и матери (а возможен еще, например, перенос генетического материала вирусами). Даже при отсутствии мутаций в согласии с классической генетикой генотип каждой особи создается заново из имеющихся элементов. Продолжая аналогию с программированием, можно сказать, что из поколения в поколение передаются не программы, а подпрограммы, из которых каждый раз заново собираются программы - генотипы.

Итак, генотип - программа, фенотип - результат работы этой программы в данных условиях. Но легко сказать “программа”. Значительно сложнее выяснить, как она работает. Для иллюстрации один вопрос: нет ли в ней запрограммированных случайностей? Не будет ли в практически одинаковых условиях значительного разброса фенотипов при одинаковом генотипе? Для одних видов, например, для человека - вроде бы нет. Разброс в фенотипах однойцевых близнецов значительно меньше внутрисового, внутрипопуляционного. А, например, для насекомых?

Многие условия среды меняются случайно. Не исключено, что лучшим способом приспособиться к случайной среде может быть преднамеренно случайное изменение фенотипа. Полной ясности в этом

⁹ Кроме работ по зависимости выводов от принятой аксиоматики

вопросе нет. В следующей главе мы проведем исследование простой модели, показывающей, что наличие такогодатчика случайных чисел может быть выгодно¹⁰). Для нас в этой главе генотип - то, что особь “получает от рождения”. Дальнейшее уточнение здесь неуместно.

Со временем состав живых существ на планете меняется. Кого-то становится больше, а кого-то меньше, появляются совсем новые разновидности и виды, а некоторые исчезают навсегда. Можно ли не то, чтобы построить, но помыслить как потенциально осуществимую динамическую модель этого процесса? Есть принципиальные препятствия: динамика состава живых существ плохо обособляется от динамики климата и ландшафта, минерального состава почвы и количества доступной влаги и т.д. Все это завязано в один узел.

Большинство выделенных и описанных учеными процессов химического и энергетического кругооборота тесно связано с процессами жизни: функционированием и миграцией, размножением и гибелью живых существ. Тут не просто влияние и даже не взаимное влияние, а частичное взаимное включение этих процессов. Корни деревьев достают воду из глубины земли, а листья ее испаряют - это и часть функционирования леса, и часть круговорота воды.

Процессы переноса и преобразования вещества и энергии, тесно связанные с Жизнью, частично протекающие через живые организмы и неотделимые от них, образуют особую оболочку Земли - *биосферу*. Биосфера - явление многоплановое, поэтому полезно выделять в нем различные структуры. В первую очередь - это структура процессов. Процесс жизни и неотделимые от него перенос и превращение вещества и энергии, сопутствующие им геохимические и геофизические преобразования - вот основные биосферные процессы. Очевидно, что они протекают неодинаково в различных местах и в разное время. Можно разделить их на меньшие части так, чтобы каждая из них была однородна. Части будут взаимодействовать. Эту структуру можно назвать *пространственно-временной*.

Биосфера неоднородна и по захваченному ей материалу. Важнейшие подразделения тут - область жизни, которая активно захватывается протекающими процессами, и, с другой стороны, тот материал, который сформирован биосферными процессами, но выпал из активного в них участия: осадочные породы, каменный уголь, нефть,...

Сама область жизни подразделяется на живое (*биота*) и *косное* (не живое). Между ними идет постоянный обмен веществом.

¹⁰ Первое употребление слова “выгодно”. Осторожнее! С его помощью, рассуждая о выгоде для вида, популяции, особи, гена, кусочка ДНК можно так запутать ситуацию, что потом уже ничего нельзя будет понять.

Биосфера как целое обособляется намного лучше, чем биота. На нее воздействуют Космос (в том числе - излучение Солнца) и глубокие недра Земли, недоступные живому. Следует ли учитывать обратное влияние? На космос - конечно, нет. С недрами сложнее. Толщи осадочных пород могут влиять на те процессы, непосредственно в которых Жизнь не участвует. Тут важно, насколько силен “рикошет” - возвратное действие результатов этого влияния на биосферу. Если рикошет значителен, тогда другой вопрос: как быстро он сказывается? Принимаем гипотезу о разделении времен: время описанного рикошета намного больше характерных времен макроэволюции - времен видообразования. Это позволяет при анализе шагов эволюции заменять взаимодействие глубоких недр с биосферой на одностороннее воздействие.

Состояние биосферы перестраивается со временем. Под воздействием Жизни изменяется атмосфера. Сейчас общепринято, что до возникновения Жизни атмосфера Земли практически не содержала кислорода - иначе не могли бы накапливаться запасы органического вещества, сырья, необходимого для зарождения всего живого (идея Дж. Б. С. Холдейна и Ф. И. Опарина). Жизнь меняет геологический облик Земли (см. “Биосферу” В. И. Вернадского - поэму о могуществе Жизни [20, с. 7-102]). Это - крупномасштабные изменения, они протекают медленно. Но каждую секунду в биосфере происходит множество событий: кто-то родился, а кто-то умер, кто-то кого-то съел; делятся мириады клеток, животные мигрируют на новые места, вспыхивают и гаснут болезни, различные вещества поглощаются, преобразуются, выделяются и перемещаются живыми существами, испаряется влага и выпадают дожди, - из этих-то подчас мелких и незаметных событий складывается в конечном итоге величественная история биосферы.

Биологическая эволюция - часть этой истории. Но не всякое изменение состояния биосферы, не всякое событие может рассматриваться как эволюционный сдвиг. Биологическая эволюция может рассматриваться как изменение генотипического состава биосферы со всеми вытекающими из него последствиями - изменением числа различных разновидностей, образованием одних видов и вымиранием других и т.д.

Генотипический состав биосферы - множество генотипов живущих в данный момент индивидов. Если бы мы попытались подробно описать отдельно состояние биосферы, а потом столь же подробно - множество всех представленных в ней генотипов, то последнее описание было бы намного короче, но содержало бы заметно меньше параметров. Спешим заметить, что построение таких детальных описаний - мысленное, оно требует такой информированности, что в действительности этого никто не делал и делать не будет.

Если задано множество всех генотипов ныне живущих существ, то восстановить по нему состояние биосферы без специальных предположений невозможно. Множество генотипов - тень биосферы, и как по плоской тени нельзя полностью построить трехмерное пространственное тело, так и задание множества генотипов не определяет всего состояния биосферы, хотя кое-что существенное по нему восстановить можно.

Продолжим аналогию с тенью. Плоская тень пространственного тела - его проекция на плоскость. “На что” проектируется биосфера при переходе к множеству генотипов? Что это за пространство?

Внимание: появляется важнейший объект - *множество возможных генотипов*, всех без исключения. Если переход от состояния биосферы к множеству представленных в ней генотипов - аналог плоской проекции, то это множество возможностей - аналог той плоскости, на которую отбрасывается тень.

Обозначим множество всех возможных генотипов буквой X (первое и последнее буквенное обозначение в этой главе). Множество X очень велико. Большинство его элементов соответствует несуществующим и никогда не существовавшим генотипам. Мало того, значительная часть точек - генотипов никогда не реализуется в будущем.

Огромность X - не преграда для анализа. Математика имеет опыт работы с такими бесконечностями, что это множество для нее по своей величине ничего особенного не представляет.

Можно задать очень естественный, но трудный вопрос: зачем нужны такие абстрактные объекты, как X? Легко понять, зачем нужно описывать текущее или прошлое состояние биосферы или хотя бы представить себе процесс получения такого описания и даже грубо провести его в одном из первых приближений. Но как понять множество всех потенциальных возможностей, которое неизвестно откуда и как можно получить; возможностей, большинство из которых никогда не реализовывалось и реализовываться не будет? Это может показаться слишком сложным, заумным и вовсе ненужным.

В свое оправдание приведем пример. Представьте стрельбу по мишени, обычной мишени - серии концентрических колец, маленький кружочек в центре - десятка, далее девятка, восьмерка,... Пуля покроют незначительную часть мишени, но выставлять ее надо всю целиком. Нельзя заранее указать, куда попадут пули и выставить только эти маленькие кусочки мишени.

Второе оправдание - привычка. Мы привыкли вводить все множество потенциальных возможностей. Этот прием используется в моделировании постоянно. Хотим мы, например, описать химическую реакцию горения водорода. Задан начальный состав. Что делать дальше? Представляем себе

множество всех мыслимых составов смеси и для каждого такого состава указываем, куда пойдет реакция и с какой скоростью, вернее, придумываем, как это вычислить. И только потом считаем. Система пройдет по одной траектории, заведомо не все составы будут встречаться в ходе реакции. Но какие будут, а какие нет, заранее неясно, нужно начинать с множества всех потенциальных возможностей. В принципе такая же ситуация, как и в стрельбе по мишени. Математики называют область, в которой рассматривается движение, *фазовым пространством* (в начале учебника В. И. Арнольда [6] дан яркий и простой пример того, какие преимущества может принести использование этого понятия).

А с биосферой мы схитрили. Не ввели множества всех возможных ее состояний. Но если вдруг мы начнем изучать динамику биосферы, поставим проблему долгосрочного прогнозирования и будем ее решать - тут множество всех возможных состояний уже понадобится.

Может быть, существуют другие способы изучить динамику. Мы этого не знаем. Далее часто будет встречаться “подмножество X , состоящее из всех генотипов, представленных в данный момент времени в биосфере”. Чтобы не повторять столь длинного словосочетания, введем термин: “генотень биосферы в X ” или короче “*генотень*”.

Термин “генотень” выбран из-за своей формы. Он придуман специально для этой книжки и нигде ранее не встречался.

Несущественное уточнение: генотень не является, строго говоря, подмножеством X , так как возможны одинаковые генотипы. Для каждого генотипа, присутствующего в генотени, надо указать его “кратность” - количество в биосфере особей с этим генотипом. Далее об этом отличии генотени от подмножества вспоминать будем только эпизодически.

Эволюция - изменение генотени во времени. Можно сказать, что основная задача теории эволюции - изучение динамики этих изменений, законов, по которым они происходят. Однако, увы, динамика генотени не является самостоятельной, автономной. Зная генотень сегодня, нельзя предсказать, какой она будет завтра, нельзя найти даже вероятность возможных изменений. Для этого нужна дополнительная информация.

Один из парадоксов генетического понимания эволюции - из поля зрения исчезает организм. Генотип при размножении порождает новые генотипы - такое крайне идеализированное представление лежит в основе. Все, кроме генотипов, составляет “условия” размножения и выживания их носителей. В этом смысле вроде бы и все учтено, но остается неудовлетворенность - не выделено отдельного места для классического объекта биологии - организма. “Курица - это всего лишь способ, которым одно яйцо производит другое” - этот афоризм из научного фольклора иллюстрирует ситуацию.

Проблема здесь не в том, что “генетический” взгляд не учитывает чего-нибудь существенного. С точки зрения динамики в нашем возможном мире все в порядке. Генотень далеко не автономна, не обособлена от биосферы. Есть целостная динамика биосферы и тень. Проблема в другом. Если в динамических моделях эволюции нет специального места для организма, как сложного целого, то каким же способом объяснить это целое с помощью эволюции? Как синтезировать физиологию и теорию эволюции? Опять проблема синтеза, и снова разрыв возникает при попытке измерить свойства организмов с помощью выживания и размножения, связать два уровня описания.

В этот разрыв было брошено много сил. Выдающийся исследователь И. И. Шмальгаузен, много сделавший для выявления этой проблемы и поиска средств ее решения, писал: “Так как именно фенотипы являются носителями жизни и объектами естественного отбора, то ход индивидуального развития не может не иметь значения для эволюции... самое главное - в генетической теории естественного отбора не видно организма как такового с его активной борьбой за свою жизнь” [113, с. 39].

Фенотипы - объекты естественного отбора... иногда еще говорят, что естественный отбор действует на фенотипы. Попробуем понять эту фразу. Какова ее цель? На какой вопрос она отвечает? Эта фраза призвана ликвидировать одну странность: генотип “неживой”, его не видно, а результатом отбора называют изменение генетического состава - всю динамику фиксируют на табло генотипов. Результат зафиксирован на каком-то абстрактном табло, а как его связать с живым объектом биологии? Живут же организмы, а не отдельные генотипы. Цель тезиса о воздействии отбора на фенотипы является и его основанием по типу: необходимо связать отбор со свойствами организма, потому что на самом деле связь, очевидно, есть.

В чем состоит естественный отбор? В том, что из-за различного успеха в выживании и размножении одних становится больше, а других - меньше. Кого одних - других? Фенотип подвержен модификациям: сменились условия - и все фенотипы изменились. Что, вчерашние фенотипы отбракованы, а нынешние “отобрались”? Нет. Могло вообще не произойти никакого эволюционного события - все зависит от изменений в генотени. Если она осталась прежней, то никакого отбора не было.

Интересный шаг. Отбор отрывается от генотени и предстает действующим агентом (“действует на фенотипы”) или вступает в “субъект-объектные” отношения (“фенотипы - объекты отбора”). Этому можно найти основания в мысленном образе селекционера, который выбирает и размножает, например, самых длинношерстных овец, а остальных отправляет на шашлык. Аналогичные ситуации возможны в природе: преимущества имеют выделенные фенотипы, а уклоняющиеся от них

гибнут. Генетический состав при этом может меняться, а может и сохраняться. Все зависит от того, являются ли наследуемыми особенности, значимые для выживания.

Нам кажется, что мысль, которая кроется за “действием отбора на фенотипы”, лучше сформулировать так. Носители разных фенотипов имеют неодинаковый успех в выживании и оставлении потомства. Если значимые для выживания различия связаны с наследованием, то преимущества сохраняются у детей и внуков, со временем происходит эволюция генотипического состава. Кого-то становится больше, а кого-то - меньше. Это и есть результат отбора. Не вводя генотипы, о результатах естественного отбора вообще сказать нечего: вне наследования их быть не может. А проблема синтеза, предполагающая отыскание места для организма в генетико-эволюционных рассуждениях, остается пока нерешенной. Иногда проявляется склонность к ее мифологическому прикрыванию, как будто от фразы, что фенотип служит объектом естественного отбора, что-то изменится.

Изменение генотипов - исчезновение в ней одних генотипов и возникновение других. Но успех особи в выживании, в оставлении после себя потомства, зависит не только от генотипа. Важно также и то, что эта особь из себя в действительности представляет - ее фенотип, а также взаимодействие особи со средой. В генотипы же участвуют только генотипы, ни дополнительной информации о фенотипах, ни, тем более, сведений о среде в ней нет.

Каждая особь живет в биосфере, представляя собой маленький, но важный биосферный процесс. Естественно, не все, происходящее в биосфере, одинаково существенно для выживания и размножения особей. С точки зрения этого маленького процесса огромная биосфера сплюсчивается в более простой и более локальный - привязанный к конкретным местам во времени и пространстве процесс, а мы получаем новую идеализацию “среда”.

Понятие “среда” нуждается в дальнейшем подразделении. Существенными характеристиками среды являются физико-географические условия: климат, рельеф местности. Важны гидрологические условия (количество и качество доступной влаги), доступность различных химических элементов и более сложных веществ. Все сказанное (и еще многое) объединяют под названием “*косные элементы среды*”, косные - не живые. Надо понимать, что многие косные элементы стали такими, какие они есть, при участии Жизни. Если бы не предки тех сине-зеленых водорослей, которые сейчас портят воду в искусственных морях, то не было бы ни пригодного для нашего дыхания воздуха, ни озонового слоя, защищающего поверхность Земли от жесткого ультрафиолетового излучения. Кроме косных элементов среда содержит

много живых существ. Каждый организм взаимодействует с другим. В большинстве взаимодействий участвуют фенотипы, а не непосредственно генотипы.

Итак, если мы хотим предсказать изменение генотипа, то нужно описать среду обитания организмов: задать косные элементы местообитания и фенотипы живущих в этом местообитании существ.

Но очевидно, что есть один тип взаимодействий, в котором участвуют и непосредственно генотипы. Это половое размножение и, шире, перенос генетического материала. Потомки данной особи получают генетический материал не только от нее. В случае полового размножения это особенно очевидно. Но это верно даже и для тех разновидностей живых существ, которые размножаются преимущественно бесполом путем. Гены могут переноситься вирусами. Существуют плазмиды - во многом аналогичные вирусам полупаразиты-полусимбионты (а по сути - молекулы ДНК). Устойчивость к антибиотикам у ряда болезнетворных бактерий переносится с помощью плазмид, которые могут не только переходить по наследству при делении, но и передаваться от клетки к клетке. Клетка - носитель плазмиды может заражать ею других.

Совокупность ныне живущих особей, которые могут участвовать в формировании генотипов у потомков данной, образуют то, что можно назвать *генетической средой*.

Слова “могут участвовать” здесь надо понимать как наличие реальной возможности с не слишком малой вероятностью. Интересно, что в действительности определение генетической среды зависит от того, сколько поколений потомков учитывается. Чем больше поколений, тем больше индивидов надо включать в генетическую среду. Если учесть достаточно много поколений, то может казаться, что все люди - кровные родственники.

Договоримся брать в определении генетической среды не слишком много поколений (одно - два - три). Сколько именно - вопрос, важный только для решения конкретных задач, которыми мы здесь заниматься не будем.

При обычном половом размножении, пренебрегая другими способами переноса генетического материала, можно отождествить генетическую среду с популяцией, в которую входит данный индивид.

“*Популяция* является совокупностью особей определенного вида, в течение достаточно длительного времени (большого числа поколений) населяющих определенное пространство (территорию или акваторию), внутри которой практически осуществляется та или иная степень панмиксии, нет заметных изоляционных барьеров и которая отделена от соседних таких же совокупностей особей данного вида той или иной степенью изоляции” [97, с. 29].

Все же “генетическая среда индивида” более общее понятие, чем популяция, даже в тех случаях, когда новые генотипы образуются только за счет полового размножения без всех остальных способов переноса генетического материала (а это скорее правило, особенно на сравнительно небольших временах, за которое сменится одно-два поколения). Так, даже и в этих случаях нетрудно указать ситуации, когда поиск генетической среды для каждой особи не встречает особых затруднений, а вот выделение дискретных единиц - популяций однозначно провести трудно. Пример - растянувшиеся на сотни километров леса. Для каждого вида растений можно указать расстояние между двумя его представителями, на котором вероятностью скрещивания можно пренебречь. Поэтому в большом лесу легко выделить пары, которые реально могут участвовать в создании следующего поколения. А вот разбивка сплошного массива на отдельные популяции может быть проведена лишь условно.

Итак, для каждого организма “условия существования”, влияющие на выживание и успех в размножении, определяются как “триединая среда”: косная, живая - фенотипическая и живая - генетическая.

Если быть логически последовательными, то это разделение лучше описывать так. Среда делится на две компоненты: живую и косную. Живая подразделяется далее на фено- и генотипическую. Но с точки зрения, например, процесса изменения генетического состава более последовательно разбиение на генетическую и негенетическую компоненты, с дальнейшим подразделением негенетической на живую и косную. Поэтому оставим триединую среду, как есть.

Иногда отождествляют среду обитания с элементами пространственно-временного членения биосферы *биогеоценозами*. Сходство усмотреть можно, но основания выделения среды для организма и для расчленения биосферы разные. Примеры очевидных различий: комары и их личинки принадлежат одной популяции, но разным биогеоценозам (личинки - водным), то же и для стрекоз, а еще перелетные птицы...

Чтобы предсказать, как будет меняться генотень биосферы, необходимо описать среду обитания различных организмов. Меняются организмы, меняется и среда - это тоже надо учитывать. Наконец, принять результаты биологической эволюции, оценить различные приспособления, можно опять же только при рассмотрении организма в среде - по генотени этого сделать нельзя.

Таким образом, для описания хода эволюции надо задать состояние биосферы. Динамика генотени не самостоятельна, не автономна - она тень динамики биосферы. Так нужен ли вообще образ генотени и понятие биологической эволюции? Не будет ли правильнее сказать, что есть только один самостоятельно изменяющийся объект - биосфера в целом, а все

остальное - только тени, возникающие при проектировании изменений биосферы на соответствующие пространства (плоскости)?

И да, и нет. Невозможно изучать сколько-нибудь сложный объект, не разделяя его на более простые (с последующим учетом взаимодействия этих “простых”, которые в свою очередь довольно сложны). С другой стороны, опасно излишнее увлечение такими определениями эволюции, как данное выше (динамика генотени) или: “эволюция - это изменение генных частот в природных популяциях”. Оно может привести к забвению того факта, что ни изменение генотени, ни изменение генных частот не являются ни автономными, ни даже сколько-нибудь четко обособленными, а в результате - к потере биологического содержания, его растворению в формальных подробностях.

По этому поводу классик синтетической теории эволюции (“синтетическая” от синтеза теории эволюции и генетики) Э. Майр пишет: “Однажды в зоопарке я бросил еноту кусок сахара. Схватив сахар, животное побежало с ним к миске с водой и начало энергично мыть его до тех пор, пока от него ничего не осталось. Сложную систему не следует разбирать на части до такой степени, чтобы от нее не осталось ничего существенного” [19, с. 26-27].

Представление о пространстве потенциальных возможностей генотипов X и о генотени на нем - необходимая предпосылка моделирования. Но такой формальный язык - не единственный и даже не самый необходимый для всестороннего изучения биологической эволюции. Право же, описывать возникшие в ходе эволюции приспособления легче и приятнее на другом, более содержательном языке.

“Цветковые растения “изобрели” средства привлечения и ориентации насекомого (подачу сигналов на расстоянии путем воздействие на зрение и обоняние) и целый комплекс приспособлений, чтобы заставить насекомое принять позу, при которой пыльца, локализованная (сосредоточенная - примеч. Авт.) на должном месте “своего” вида насекомого, попадает на рыльце. После этого в ход должны быть пущены аппараты, заставляющие насекомое прижаться к пылинкам и притом тем участком тела, которым оно только что касалось рыльца.

Настурция локализует пыльцу на нижней стороне груди шмеля. Шмель должен заметить цветок, сесть на посадочную площадку из нижних лепестков, привалиться грудью к пылинкам, засунув голову в свод, образованный сросшимися верхними лепестками и чашелистиками, вытянуть хоботок на полную длину и сосать нектар, наполняющий шпорец цветка. Но стоит шмелю нацелиться и сесть, как лепестки, снабженные тонкими ноготками, разъезжаются в стороны: шмель сам включил в действие аппарат, специально предназначенный для развода его ног. Насекомое вынуждено привалиться нижней стороной груди к пылинкам

цветка. Возвышающийся над входом в шпорец узорный свод мешает подойти к цветку с другой стороны, помимо предательской посадочной площадки. Но дотянуться до пыльников еще мало, устройство цветка настурции заставляет шмеля плотно прижаться к пыльникам. Нектар заполняет длинный шпорец настурции ровно настолько, чтобы добраться до него можно было бы только кончиком хоботка, распластавшись на цветке” [13, с. 180-181].

Тем не менее, если мы хотим изучать количественные закономерности эволюции, нужно переходить от качественных описаний к числам и другим математическим объектам. При этом теряется не только обаяние содержательного текста и биологических деталей. Много важной информации остается неформализованной. Правда, формализация не доходит до своих теоретических пределов, а останавливается гораздо раньше ввиду ограниченности возможностей исследователей и нехватки фактического материала. Понятно зачем нижние лепестки настурции снабжены тонкими ноготками и разъезжаются только после приложения определенного усилия. Но если это сцепление станет чуть прочнее и необходимое усилие увеличится на 0,01 грамма (или, наоборот, чуть слабее), то насколько ухудшится опыление? Сколько цветков останутся неопыленными? Как это зависит от других условий? И это только самые простые вопросы.

Не вызывает сомнения, что каждое требуемое число можно получить. Трудно получить все необходимое: их много, а трудоемкость каждого велика. Кроме очевидного и неприемлемого для нас выхода - отказа от количественного языка - есть еще два. Во-первых, при создании общей картины можно действовать так, как будто все данные известны, все необходимые параметры найдены, и рассматривать свойства этой картины, не зависящие от точных значений параметров. Во-вторых, можно строить более или менее умозрительные примеры, задаваясь некоторыми значениями параметров. Это будут примеры эволюции существ из особого царства. На Земле точно таких как они нет и никогда не будет. Важно лишь, что их эволюция протекает (предположительно) по тем же законам, что и для обитателей Земли. Примеры этих математических существ читатель найдет в следующей главе. Они-то под разными псевдонимами и населяют большинство работ по теории эволюции.

Но пусть нам задана генотень. Какие числа надо получить из описания организмов и среды (как вы помните, триединой), чтобы предсказать ее изменение? Ответ прост: надо указать вероятности рождения и гибели для всех генотипов.

Широко развито такое направление в моделировании: генетическая среда задается явно, а все остальное - как коэффициенты в формулах для вычисления вероятностей. Оно называется *математической генетикой*.

Краткое введение в эту науку дано в книге [86], а более подробное изложение с детальным изучением некоторых видов матемазавров - в [91]. Есть много и других руководств.

Итак, мы ввели множество потенциально возможных генотипов X и генотень биосферы в X - множество всех генотипов ныне живущих существ; сказали, что динамика генотениплохо выделяется из динамики биосферы и обсудили, что такое среда, влияющая на выживание и размножение. Продолжим формальное рассмотрение, введя в X расстояние и превратив его тем самым в *метрическое пространство* - так математики называют множество, между точками которого определено расстояние.

И Ч. Дарвин, и многие другие исследователи широко используют понятие “близкие формы”, “ближайшие формы”, “малые различия”, “небольшие наследственные вариации” и т.д. Попытаемся понять, какие различия следует считать малыми. Основной характеристикой существа с точки зрения теории эволюции является его успех в оставлении после себя потомства¹¹), причем не только в первом поколении (дети), но и во втором (внуки) и далее - в достаточно большой последовательности поколений. Кроме существенных характеристик индивида и его среды обитания на число выживших потомков оказывает воздействие масса случайностей. Как всегда в таких случаях есть два набора величин, с помощью которых можно описывать ситуацию. Во-первых, набор вероятностных характеристик: с какой вероятностью при зависимости состояния среды от времени через n поколений у особи будет m потомков (для всех m, n от 0 и далее). Во-вторых, можно задать менее полный набор величин - средние характеристики: каково будет среднее число потомков особи через n поколений.

Генотипы будем считать близкими, если для них в одинаковых (реалистичных) условиях указанные характеристики близки. Нужно еще добавить: для конечного (и не слишком большого) числа поколений.

Введя расстояние, можно сделать первый, пока еще формальный шаг в ликвидации одной из тех трудностей, что были объявлены в первой главе: живущие - потомки вымерших, но раз у тех есть потомки, значит они не вымерли. Выделим фиксированную окрестность родительского генотипа - не очень большую, но и не слишком малую - так, чтобы потомки в первом поколении с подавляющей вероятностью попадали в нее. Будем определять коэффициент размножения как число попавших в эту окрестность потомков. Выскочивших из нее не учитываем.

Важно помнить о триединой среде (косные элементы + фенотипы живого окружения + генетическая среда). Бывает так, что различные виды

¹¹ Опять же, не просто потомство, но выжившего, дожившего до возраста размножения.

практически неразличимы по своим фенотипам (морфологически), но либо вообще не способны к скрещиванию, либо по каким-либо причинам не скрещиваются в естественных условиях и с этой точки зрения достаточно отстоят друг от друга, чтобы признаваться за разные виды. Мы говорим о так называемых *видах-двойниках*.

“Среди видов-двойников наиболее известен, по-видимому, комплекс малярийных комаров в Европе. Ранее полагали, что малярия в Европе переносится единственным видом малярийного комара анофелес. Изучая распространение и экологию этого комара, исследователи выявили разного рода непонятные отклонения. Было обнаружено, что комары анофелес вполне обычны в некоторых районах Европы, где малярии нет. В одних районах они питаются только на домашних животных, в других предпочитают питаться на человеке. В одних районах они связаны с пресной водой, в других - с солоноватой. Только после того, как Фаллерони обнаружил устойчивые различия яиц комаров, отличающихся по биологическим признакам, ситуация начала проясняться. В конце концов было показано, что малярийный комар в Европе на самом деле представляет собой группу из шести видов-двойников” [67, с. 34].

“Виды-двойники можно определить как морфологически сходные или идентичные репродуктивно изолированные (размножающиеся отдельно) природные популяции” [там же, с. 33].

Приведенное нами определение близости генотипов в действительности - скорее пояснение. Кроме его возможных логических недостатков (имеющихся во всяком определении, внешне претендующем на операциональность), есть еще очевидная неконструктивность, невозможность использования. Если бы мы хотели применить его на практике, то пришлось бы работать с огромными наборами чисел. В одном наборе их было бы для каждого генотипа не меньше, чем вариантов состояния среды.

Есть простой выход: все равно мы реально не знаем этих чисел, так давайте введем более простой объект - расстояние между генотипами. Пусть конкретное численное значение этого расстояния ничего непосредственно не означает. Важно лишь, что оно мало для близких генотипов и не мало для тех, которые мы считаем близкими. Конечно, стоило бы конкретизировать, что такое “мало” и “не мало”, но делать этого здесь не будем, оставив конкретизацию этих слов как открытый вопрос. Итак, на X введено расстояние.

Попытаемся создать себе зримый образ генотени. Одно время было общеупотребительно наглядное пособие в виде карты с расположенными на ней лампочками от карманного фонарика. Ими обозначались, например, электростанции. Когда включались лампочки, на карте зажигались огоньки и было видно, где сколько электростанций. Можно

было бы усовершенствовать такое пособие, подбирая для каждой электростанции лампочку, мощность которой была бы пропорциональна производству энергии. Тогда было бы видно не только, где сколько электростанций, но и сколько в каком районе производится энергии.

Представим себе X как большую карту, а для каждого генотипа из генотени вообразим лампочку, отмечающую его положение на этой карте. Мощность лампочки выберем пропорционально биомассе организма. Что же мы увидели бы, будь это проделано? Карта X заняла бы огромное пространство. Лампочек на ней было бы очень много. Вряд ли удалось бы оглядеть такую карту с близкого расстояния.

Отойдем несколько дальше. Что же мы увидим теперь? Лампочки будут расположены далеко не равномерно. С выбранного расстояния невозможно будет увидеть одну лампочку, зато будет очевидно, что светящиеся точки разбросаны кучками, довольно плотными группами, между которыми гигантские просторы неиспользованных возможностей.

Такое расположение точек должно, вероятно, напоминать распределение вещества во Вселенной. Частицы собираются в звезды, те - в галактики, далее - скопление галактик и т.д. (но не обязательно до бесконечности).

Никто не видел нашей воображаемой карты, не исследовал специально вопрос о неравномерности расположения генотени в X, но весь опыт биологии вроде бы убеждает в наличии этой неравномерности.

Нет специального зафиксированного термина для описанного вида расположения точек - генотипов из генотени. Наиболее подходящим кажется название "*иерархическое расположение*": точки складываются в сгустки - группировки первого уровня, те - в группировки второго уровня и т.д.

Подмывает использовать для сгустков первого уровня термин "вид", для второго, третьего и т.д. - названия высших таксонов биологической систематики (род, семейство,...). Но делать этого мы не будем. Что такое сгусток, можно определить формально, по крайней мере в том мире, где мы сейчас находимся (дано X, расстояние на X, генотень и т.д. - все потенциально осуществимое предполагается осуществимым на деле). Что такое вид? На эту тему есть много точек зрения, и нам совсем не хочется, добавляя к ним еще одну, вступать в дискуссию специалистов-биологов. Что же касается сгустков высших порядков, то их совпадение с высшими таксонами совсем не очевидно, хотя сходство отрицать нельзя.

Тем не менее, существующая систематика может рассматриваться как подтверждение иерархичности генотени. Особи одного вида должны, вероятно, отстоять друг от друга меньше, чем от особей другого вида, хотя сам вид в нынешнем понимании может распасться на несколько сгустков

первого порядка. Итак, примем, что виды - сгустки, но не обязательно первого порядка, и не всякий сгусток - таксон.

Другие сгустки, меньше чем вид, могут быть найдены в иерархии внутривидовых единиц. К. М. Завадский [46, с. 219-220] выделяет семь таких единиц.

- “1. Полувид... - географическая или экологическая раса, почти достигшая состояния молодого вида.
2. Подвид... - сформированная географическая или экологическая раса.
3. Экотип... - локальная экологическая раса.
4. Местная популяция... - относительно обособленное поселение, устойчиво занимающее определенную территорию и способное к самовоспроизведению; основная единица населения и более или менее отчетливо ограниченный структурный элемент вида.
5. Экоэлемент... - внутривидовая форма, связанная со спаянным, нерасщепляющимся генетически комплексом и способная выходить из популяции в положение самостоятельно существующего экотипа.
6. Морфо-биологическая группа или изореагент... - группа организмов внутри популяции, имеющая одинаковую или различную наследственную основу, различная морфологически, имеющая сходный ритм развития (феногруппа) и одинаково реагирующая на условия среды.
7. Биотип... - элементарная единица генетической структуры популяции; группа особей, имеющих почти тождественный генотип и отличающихся от всех таких же групп хотя бы одной мутацией”.

Далее К. М. Завадский подробно комментирует предлагаемую иерархию, обращая особое внимание на установление границ той или иной группировки в действительности [46, с. 220-259]. Тем самым проясняется смысл определения и ему придается операциональный характер - по крайней мере, частично. Обнаружение таких границ может служить аргументом в пользу иерархичности генотени.

Отмеченный факт - иерархичность расположения генотени в X настолько важен, что представляется необходимым, во-первых, надежно его установить, а во-вторых, попытаться объяснить теоретически.

Ссылка на очевидность для установления факта недостаточно; многое, считавшееся очевидным, оказалось впоследствии неверным. Впрочем, вся биология основывается на предполагаемой иерархичности. Представление о такой организации мира живого пока не привело к серьезным противоречиям, и это вселяет надежду, что противоречия не появятся впредь. Поэтому может оказаться разумным сохранять такое представление и далее, а каждый успех, достигнутый с его помощью, считать косвенным доказательством и для него, не ставя при этом отдельной проблемы о существовании иерархичности.

Эту проблему трудно не только решить, ее трудно и однозначно поставить. Поэтому приходится довольствоваться таким обходным маневром. Примем иерархичность как факт, благо это не входит в очевидные противоречия с имеющимся опытом. Будем широко использовать этот факт в наших построениях. Попытаемся дать ему теоретическое объяснение. Если нигде на избранном пути не возникнет существенных препятствий, то не станем особенно задумываться о непосредственной проверке принятой гипотезы.

Почему же проблема иерархичности столь трудна для однозначной постановки и решения? Да потому, что ни X , ни генотень не построены и в полном объеме построены не будут. Они придуманы как важные детали картины мира. Даваемые определения иногда носили вроде бы операциональный характер, использовались наблюдаемые величины, например, число потомков, в определении близости точек из X . Это не должно вводить в заблуждение. Ничего реально конструктивного в этих определениях нет. Они могут служить только идеологическими основаниями для конструирования более реалистичных процедур.

Перечислим, чего не хватает. Нет описания X , с помощью которого можно было бы выделять из него точки. Для этого нужно создать подходящий язык описания точек X . Нужен способ для вычисления расстояний на X . Интересно, что вторая задача может решаться отдельно от первой. Можно задаться целью вычислить расстояние между генотипами двух живых существ, не имея подробного описания самих генотипов. Это в некотором приближении уже сделано *геносистематикой* [4]. Оказывается, можно измерять насколько близки две молекулы ДНК, не имея полного описания их структуры. Для этого плавят двойные спирали, смешивают одинарные цепочки, полученные от разных организмов (и отрезки этих цепочек), охлаждают и смотрят, насколько успешно будут образовываться двойные спирали из кусочков разного происхождения. Этот метод гибридизации и его модификации позволяют как-то измерить близость и порождают некоторое расстояние. Но вычисляется оно не для точек X , а для организмов. Вот еще задача: найти способ описать точку в X , соответствующую данному живому существу.

После этого - гигантская работа по составлению генотени. Невозможно перебрать все живые существа и построить генотень полностью. Нужно изобретать способы сокращения описания и числа операций. Наконец, после всей этой работы надо будет специальным образом обработать данные, чтобы выяснить, есть иерархичность или ее нет.

Таких непосредственно не проверенных фактов - гипотез много в любой науке. Примеры из истории физики: евклидовость геометрии

реального мира, возможность полностью детерминированного описания мироздания. Современную физику трогать не будем.

Теоретическое обсуждение вопроса об иерархичности начнем с его наиболее важного частного случая: почему вообще существуют сгустки, а не более или менее равномерное распределение? Общеизвестные примеры неоднородностей - сгустков дают биологические виды. Поэтому сюда входит вопрос: почему существуют виды?

Задавшись двумя вопросами: “почему существуют виды?” и “каково их значение?” - Э. Майр пишет: “Пожалуй, нет лучшего способа ответить на эти вопросы, чем попытка представить себе мир без видов. Вообразим, например, мир, в котором существуют одни лишь особи, составляющие одно сообщество, внутри которого происходит скрещивание. Каждая особь в той или иной степени отлична от любой другой особи и каждая особь способна скрещиваться с теми особями, которые с ней наиболее схожи. В нашем воображаемом мире каждая особь была бы, так сказать, центром серии концентрических окружностей, образуемых все более отличными от нее особями (вот оно - наше пространство X и расстояние в нем, используемые в рассуждении - примеч. Авт.). Партнеры в каждой брачной паре в среднем были бы довольно отличны друг от друга и давали бы в своем потомстве множество генетически разных типов. Предположим теперь, что одна из таких комбинаций особенно хорошо приспособлена к одной из доступных ниш¹²). В этой нише она процветает, но, когда придет время спаривания, этот “высший” генотип неизбежно будет разрушен. Механизма, который предотвращал бы такое разрушение наилучших комбинаций генов, не существует и, следовательно, не существует возможности постепенного совершенствования комбинаций генов. Теперь становится понятным значение видов. Репродуктивная изоляция представляет собой защитный механизм вида, который препятствует нарушению его хорошо интегрированной системы коадаптированных генов (т.е. системы хорошо приспособленных друг к другу генов - примеч. авт.)” [67, с. 29-30].

Что сказать об этом объяснении? Оно во многом повторяет давние аргументы Ф. Дженкинса против теории Ч. Дарвина: половое размножение должно растворить новые выгодные признаки. Э. Майр “переворачивает” аргумент Ф. Дженкинса: поскольку растворения новых полезных признаков допустить нельзя, должны быть виды и репродуктивная изоляция, это выгодно.

¹² “Ниша (экологическая) - совокупность факторов внешней среды, к которым приспособлен данный вид (или иной таксон); внешнее выражение потребностей организма, специфический способ использования среды” [67, с. 422].

Второй раз “выгодно”. Кому? Кто является носителем “решающего правила”: скрещиваться - не скрещиваться? И почему именно он получает выгоду от изоляции?

К вопросу о соотношении различных выгод мы еще не раз вернемся, а пока заметим, что размывающее воздействие полового размножения может быть устранено и без обращения к “выгодности” образования репродуктивно изолированных группировок. Чтобы показать это, воспользуемся уже введенным по сути Э. Майром представлением о “радиусе скрещивания”.

Предположим, что скрещивание допускается только в том случае, когда расстояние в X между генотипами особей не больше некоторого. Это критическое расстояние и назовем радиусом скрещивания. Если он достаточно мал, то размывающее воздействие полового размножения на “наилучшие комбинации генов” может быть скомпенсировано более успешным выживанием носителей этих “наилучших комбинаций”. Предположенный Э. Майром в его рассуждении от противного “мир без видов” для сохранения наилучших комбинаций генов не нуждается в специальном механизме репродуктивной изоляции - все зависит от радиуса скрещивания и того, насколько эти “наилучшие комбинации” действительно являются наилучшими, насколько успех выживания носителя этой комбинации отличается от успеха носителя генотипа, отстоящего от нее на радиус скрещивания (это отличие удобно измерять, например, отношением вероятностей достижения репродуктивного возраста или отношением ожидаемых количеств потомков в одном из первых поколений).

Модель “радиуса скрещивания” относится к пятому (“эвристическая модель без количественного подтверждения”) или даже шестому (“учтем только некоторые особенности”) типу. Оно заведомо сильнее огрубляет реальность, чем модель свободного пробега в физике газов.

Предпочтения в скрещивании не столь просты, чтобы их можно было описывать одной величиной (радиусом) и, что интереснее, они не постоянны, а зависят от плотности популяции (перенаселение и разреженность), ее фенотипической однородности или неоднородности и других факторов. Приведем один пример, наводящий на размышления, не относящийся к биологической эволюции.

Хорошо установлено, что у плодовой мушки дрозофилы выбор брачного партнера при ухаживании делает самка (настолько, насколько можно говорить о “делании выбора” дрозофилой). Ставились опыты, заключающиеся в том, что к популяции мушек обычного, дикого типа добавлялось некоторое число фенотипически отличных мутантов. Когда этих мутантов было мало (редкий фенотип) самки оказывали им заметное предпочтение: на одного мутанта самца приходилось почти вдвое больше

оплодотворенных самок, чем на обычного. Когда число мутантов увеличили и оно стало примерно равным количеству обычных самцов, ситуация изменилась: теперь обычные самцы получали некоторое преимущество. И, наконец, когда число мутантов более чем втрое превысило количество “своих” диких самцов, шансы мутантов заметно возросли. (Данные Пети, цит. по [67, с. 169]). Интересно, что такого типа эффекты предвидел Дж. Б. С. Холдейн на моделях восьмого типа - демонстрация возможности.

В цитированной книге Э. Майр подробно разбирает различные механизмы репродуктивной изоляции, изучает, как возникают преграды для скрещивания: географические, поведенческие, генетические и др. Но вот интересная особенность - сам Э. Майр отмечает, что эти преграды не обязательно приводят к образованию дискретных единиц - видов: “Краевые популяции широко распространенных видов могут относиться друг к другу как различные виды, даже если они связаны цепью скрещивающихся популяций” [67, с. 26]. Это может быть проиллюстрировано с помощью представления о радиусе скрещивания: далекие точки X , расстояние между которыми больше этого радиуса, могут быть связаны цепью точек, в которой расстояние между ближайшими соседями меньше него.

Другая попытка понять иерархичность генотени опирается на динамику. Попытаемся представить, как меняется генотень со временем. Одни генотипы будут появляться, другие - исчезать; в одних областях X точек будет становиться больше, в других - меньше. И в каждый момент времени найдется такой набор областей, покрывающий сравнительно небольшую часть X , в которых размножение идет наиболее успешно.

Почему так? Проскакивая важные детали и уточняющие предположения, ответим: потому что непрерывная функция как правило (это “как правило” допускает точное математическое выражение) имеет не более одной точки максимума (в которой она принимает наибольшее значение), и потому, что дети похожи на родителей - генотип потомков в первых поколениях с большой вероятностью лежит в X недалеко от генотипов родителей.

Из этих двух соображений, одного - математического, другого - биологического, можно получить, что даже если искусственно создать более или менее равномерное распределение особей (“туманность” в X), то со временем почти все живое будет сосредоточено в небольших сгустках - “звездах”, между которыми пустота, точнее, намного более разреженное пространство. “Звезды” образуются там, где размножение и выживание будут в среднем наиболее успешны.

После существенного уточнения формулировки это утверждение становится математической теоремой [35]. Уточнение, увы, требует

сужения предположений и отдаляет получаемое утверждение от реальности.

Значительные отклонения генотипов потомков от генотипов родителей, если они имеют место, приведут к переводу вопроса о “сгустках”, об иерархичности из разряда качественных в количественные. Разница темпов размножения будет способствовать образованию сгустков, а большая изменчивость генотипов - их расплыванию, поэтому вопрос получает другую формулировку: каков характерный размер сгустка? Если он велик, тогда нет ни сгустков, ни тем более иерархичности.

Еще раз подчеркиваем, что “сгусток” и “вид” не равнозначны. В частности, все рассуждения о сгустках переносятся на случай бесполого размножения, для которого применение понятия “вид”, определенного через репродуктивную изоляцию, затруднено.

Вопрос о происхождении высших таксонов: родов, семейств, ... - в каждом конкретном случае сложен. Простейшая модель его решения такова: в эти таксоны объединены виды, имевшие общего предка. Чем выше порядок таксона (чем дальше он от вида) - тем древнее этот гипотетический общий предок, тем раньше произошло расхождение родительского вида, распад его на несколько новых. Так ли это?

У нас (да и у большинства) не вызывает сомнения, что высшие таксоны могут возникать таким способом. Но столь же очевидным кажется и то, что этот способ - не единственно возможный. Поэтому для каждого таксона существует проблема: каким способом он возник?

Неизвестно, как произошли цветковые растения. Этой загадкой занимались многие. “Однако и теперь, через без малого 200 лет после “Попытки объяснения метаморфоза растений” Гете и через 100 с лишним лет после “Происхождения видов” Дарвина, сравнительная морфология все еще не дает однозначного решения “проклятой загадки” [57]. Речь идет о разногласиях не в милых сердцу специалиста деталях, мало что говорящих непосвященному. Споры о таких деталях не редкость, но здесь говорится о колоссальных противоречиях между бытующими точками зрения. Одни полагают, что все группы цветковых связаны между собой промежуточными звеньями, другие утверждают, что связи между этими группами неясны, а промежуточные звенья сомнительны. Одни считают, что геологическая летопись не полна и остатки предков цветковых просто не сохранились, например, за счет того, что они обитали в горах. Другие, наоборот, настаивают на достаточной полноте геологической летописи и тоже весьма убедительно.

Нам трудно однозначно выбрать из этой дискуссии непротиворечивую точку зрения - специалисты еще не договорились. Но мы можем попытаться лучше понять принципиальное существо спора, обращаясь к нашей модели - карте с лампочками (к светящейся генотени).

Вновь будем говорить о сгустках генотипов, а не о таксонах - видах, родах, семействах, ююю. Сгустки видны на карте как яркие пятна, таксоны же обычно составляются по ряду признаков строения организмов и их взаимоотношений со средой.

Будем смотреть на нашу карту. Отодвинемся достаточно далеко, чтобы яснее были видны крупномасштабные особенности распределения генотипов по X. Будем смотреть долго, миллионы лет (мы вновь попали в мир, где осуществимо все потенциально возможное). Что же мы увидим? Огоньки движутся по карте. Вот яркий сгусток при движении разделился на два, те снова распались, образовалось скопление. Некоторое время составляющие его пятна движутся рядом, потом часть из них угасает. Это - пример дивергентного образования скопления сгустков. Вот неподалеку от яркого сгустка возникла светящаяся точка, которая постепенно наращивает свою яркость. Это - еще один пример *дивергенции* (расхождения). Он отличается от первого, но все же и здесь можно указать "родительское" сгущение генотипов. А вот на темном месте появилось светящееся пятнышко, начало расти, делиться. Откуда оно возникло? По карте этого не скажешь. Может быть, в результате отдаленного скрещивания или симбиоза? Или это следствие переноса генов вирусами? Мы можем увидеть светящиеся пятна, которые при движении становятся все ближе, как будто притягиваются друг к другу. Это явление называется *конвергенцией*. Но вот нечто необычайно интересное. Как единое целое движется скопление светящихся пятен. Время от времени некоторые пятна покидают его и удаляются в неизвестном направлении. Внутри скопления то и дело гаснут одни пятна и загораются другие, происходят распады и сближения. Да, возможно и такое. Целостность скопления может поддерживаться отдаленной *гибридизацией* и другими способами переноса генетического материала, а также сходством среды обитания.

Остановим движущуюся картину, и сразу пропадет понимание того, что здесь происходило. Мы будем видеть только группы сгустков, группы групп и т.д. Представьте, насколько сложна задача восстановления реальной истории по такой мгновенной фотографии, насколько сложно установить, как возникла та или иная большая группа.

На помощь приходит многое: палеонтологический материал, исследования, позволяющие отсечь некоторые возможности (например, изучение отдаленной гибридации и преград для нее) и многое другое. Так, вытаскивая факт за фактом, деталь за деталью, исследователи надеются узнать, что было на самом деле.

В изучении происхождения высших таксонов есть сложности, возникающие не из-за незнания реальной истории, а вследствие принятых способов рассуждения. Крупные таксоны часто строятся на основе анализа формы, физиологии и других современных признаков, а потом и для этой

морфофизиологической группы ищется история. Сторонник современной синтетической теории эволюции может сказать, что “морфофизиологический таксон” (единство формы и физиологии) и “исторический таксон” (единство истории) - разные понятия. Или так: таксон - единство истории, а единство формы и физиологии есть аналогия. Но как конструктивно отличить их друг от друга?

Понимая таксоны только как исторические, Э. Майр категорически заявляет: “В заключение мы можем сказать, что все доступные нам данные указывают на то, что происхождение высших категорий (таксонов - примеч. Авт.) есть процесс, представляющий собой не что иное, как экстраполяцию процессов видообразования. Все процессы и явления макроэволюции (эволюции высших таксонов - примеч. Авт.) и происхождение высших категорий могут быть прослежены в обратном направлении до внутривидовой изменчивости, несмотря на то, что первые стадии таких процессов обыкновенно очень незначительны” [68, с. 448]. Как легко понять, это “могут быть прослежены” имеет в лучшем случае смысл потенциальной осуществимости: если бы мы имели полный материал, да могли бы в деталях получить ответ на любой интересующий нас вопрос, то... Высказывание же в целом относится, скорее, к “историческим таксонам”, а насколько единство формы и физиологии гарантирует единство истории, не вполне ясно, хотя связь, конечно, есть.

Попытки восстановления истории высших таксонов встречаются, конечно, не только логические затруднения. Тут есть трудности, общие для всех исторических наук. Угадывание прошлого не проще, чем предсказание будущего, а в некоторых отношениях и сложнее. Будущее еще будет и обязательно появится возможность проверки хоть части предсказаний, а многие следы прошлого потеряны безвозвратно. Даже казалось бы ясный по постановке вопрос о причинах исчезновения динозавров до сих пор не имеет однозначного ответа. Каких только гипотез здесь не высказывалось. Например, М. Вильрафт в 1947 г. Предположил, что в период расцвета динозавров Луна была ближе к Земле, приливные волны заливали огромные площади, к которым и приспособились гиганты. Им в полном смысле слова было “море по колено” (ну, если не по колено, то по грудь или по шею). По мнению М. Вильрафта последующее удаление Луны от Земли сузило приливную зону и динозаврам стало негде жить. В новой среде накопленные ранее преимущества были, скорее, недостатками.

Наиболее распространена точка зрения, что важнейшей причиной исчезновения динозавров была смена растительности, повсеместное распространение покрытосеменных растений, у которых больше ядов в тканях [96]. Указывают также на изменение климата.

Иногда утверждают, что динозавры представляли эволюционные тупики, не могли быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям и потому вымерли. Можно выдвинуть встречную логически столь же оправданную гипотезу: они настолько хорошо и быстро приспосабливались к имевшимся в то время условиям, что нарушили равновесие, сыграв важную роль в смене растительности, попросту съев все, что можно было съесть. Равноправие этих встречных гипотез должно предостеречь любителей порассуждать о выгодности (опять выгода!) высоких темпов эволюции. От них тоже вымереть недолго.

Л. П. Татарин [96] отмечает еще одну причину, которая могла подрывать благополучие гигантов: маленькие (сравнительно) млекопитающие съели яйца и молодняк. Но вот существенно иная гипотеза [84]: вымирание около 63 миллионов лет тому назад многих видов растений и животных объясняется падением на Землю астероида, которое должно было привести, в частности, к сильному запылению атмосферы и резкому изменению климата. Выжили только относительно мелкие животные (подобная катастрофа возможна и в случае ядерной войны). Падение астероида подкрепляется и геологическими находками - обнаружен тонкий слой осадков, обогащенный иридием, происхождение которого трудно объяснить другими способами.

С другой стороны, В. Грант подводит мрачное резюме: “Литература изобилует упрощенческими и необоснованными спекуляциями относительно причин вымирания динозавров...” [36, с. 324]. Среди таковых он перечисляет большинство упомянутых гипотез и заканчивает обсуждение так: “А пока эта тайна все еще остается нераскрытой” (с. 325).

Нет золотого ключика, открывающего загадки прошлого, не бывает машины времени. Кропотливый труд исследователей может привести к однозначному решению некоторых загадок, но чаще в результате приходим к сложной системе мнений и гипотез, которые в своей совокупности и отражают наше знание и незнание прошлого.

Формальное выражение механической картины мира - модель, описывающая “все как есть”, представляющая систему уравнений механики как движение всех частиц Вселенной. Конечно, для нее нужен еще логически всеведущий субъект - “мировой разум”. Как бы выглядела модель, описывающая “все как есть” в теории эволюции? Опять же, предполагается логическое всеведение и осуществимость всех непротиворечивых возможностей.

Долг такой модели - предсказывать изменение генотипического состава биосферы (того, что мы называем генотенью). Хотя в предположении всеведения можно было бы “разобрать” биосферу на частицы, предсказать по законам физики изменение ее состояния со временем, а потом вновь “собрать” из физического описания

биологическое, такие свехредукционистские ходы не интересны - в них потеряно все существенное (кроме того факта, что биология не противоречит физике и упомянутая “разборка” потенциально осуществима). Интересная для мысленного эксперимента модель должна оперировать как основными сущностями генотипами, особями, средой обитания и ее элементами, не проводя дальнейшего сведения (а оно возможно - в предположении логического всеведения все непротиворечивое возможно).

Важно определить характер предсказаний. По всей видимости - вероятностный, хотя возможны и упрощения, связанные с большим числом однотипных случайных событий, позволяющее переходить от вероятностных характеристик к средним и описывать их поведение во времени детализированно.

Описание состояния системы в такой модели должно включать следующие элементы: задание распределения генотипов в пространстве X (генотень); описание соответствующих фенотипов (генотип не определяет фенотип автоматически, многое зависит от индивидуальной истории), и, даже более детально, состояние индивидов; задание распределения особей в географическом пространстве; описание состояния среды. Это описание должно быть дополнено правилами вычисления вероятностей рождения и гибели, изменения фенотипов и среды. Такие правила могут быть построены лишь приближенно. Здесь речь не о неточности измерений. Параметры в биологическом моделировании принципиально нельзя считать точно заданными - речь идет об ошибке модели.

Такая модель должна была быть вовсе необозрима, если бы не существовало ее пространственного и временного разбиений: пространственного - на подсистемы (биогеоценозы, ценоэчейки и др.), в которых можно выделить внутренние процессы и взаимодействие с окружением и изучать их по отдельности; временного - на процессы существенно различного темпа, что тоже позволяет перейти к упрощениям.

Нам трудно выразить, насколько мы не удовлетворены приведенным наброском. Попробуем сказать проще. Носители различных генотипов по-разному взаимодействуют с окружением, с различной вероятностью рождаются и умирают. В результате - та игра генотени, которую мы и называем биологической эволюцией. Она не автономна и не обособлена, а является тенью динамики биосферы.

Одна из проблем в моделировании эволюции - происхождение иерархичности генотени. Мы уже говорили, что иерархичность - это факт-гипотеза. Никто ее специально не проверял, но вся совокупность данных вроде бы подтверждает ее существование.

Как ни странно, в столь ключевом вопросе, как происхождение иерархичности, не достигнуто ни ясности, ни соглашения между учеными (которое иногда заменяет ясное понимание “проклятых проблем”). Мы полагаем [35], что иерархичность может быть получена как математическое следствие того, что потомки похожи на родителей (на языке кинетики - автокаталитичности: подобное производит подобное). Нельзя сказать, чтобы эта точка зрения была особенно оригинальна, ее придерживается немало исследователей. Но вот Э. Майр полагает, что основной вклад в иерархичность вносит репродуктивная изоляция.

Тут могут быть различные аргументы и за и против. С одной стороны, репродуктивная изоляция, нескрещиваемость может быть тривиальным следствием иерархичности: если сгустки генотипов разошлись в X достаточно далеко, то носители генотипов из разных сгустков не будут давать потомства, по крайней мере, в естественных условиях. С другой стороны, если есть приспособления, обеспечивающие репродуктивную изоляцию, как только это становится “выгодным”, то они должны способствовать образованию сгустков на генотени. Нам кажется, что репродуктивная изоляция этого типа может рассматриваться как дополнительный механизм поддержания иерархичности, но вряд ли является ее универсальной причиной. Так что точка зрения Э. Майра может служить дополнением к первой.

Но есть и другие попытки объяснения. Знаменитый биолог В. Бэтсон (кстати, автор термина “генетика”) в конце прошлого века опубликовал книгу “Материалы по изучению изменчивости, специально относящиеся к прерывистости в происхождении видов”. В ней он выдвигает в качестве основной проблемы дарвинизма дискретность видов и пытается показать, что ее корни лежат в прерывистом характере изменчивости (как бы мы сказали сейчас, в прерывистости, дискретности мутаций). Н. В. Тимофеев-Ресовский и Р. Р. Ромпе в своей статье [98] идут по этому пути еще дальше: “Наличие дискретных групп среди живых организмов во всяком случае является своеобразным, грубым и в то же время ярким отражением квантовой природы структуры вещества”.

Подходы В. Бэтсона и Н. В. Тимофеева-Ресовского - Р. Р. Ромпе вскрывает одну важную проблему. Ее можно сформулировать так: что иерархично, пространство X или генотень на нем? Хотя вроде бы понимаем, что генотень должна быть иерархична для любого X , все же остается вопрос: не является ли наблюдаемая структура отражением иерархичности пространства возможных генотипов?

Поясним это, продолжив аналогию с картой. Естественно, и мы (авторы), и читатель представляли себе X как карту большой страны, напоминающую карту СССР. В этом случае сгустки генотипов - лампочек - проявление их свойств, а не следствие формы X . Но представьте себе

карту островного государства. Тогда сгустки лампочек будут соответствовать островам и структура их расположения, скорее, есть свойство X.

В проблеме иерархичности мы выделяли два специфических аспекта. Первый связан с размножением и наследованием, второй - со структурой пространства возможных генотипов. Но есть и третий, менее специфический - возникновение иерархичности во многих известных нам больших системах по мере их усложнения. Этим, возможно, объясняется интерес к проблеме со стороны таких разносторонних ученых, как А. А. Ляпунов. Последний цикл его работ, оставшийся нам как завещание, был посвящен именно ей.

Итак, с чем связана иерархичность? Хотелось бы знать наверняка.