

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ

ВОПРОСЫ  
ФИЛОСОФИИ

ХІХ ГОД ИЗДАНИЯ  
ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО

2

1 9 6 5

# Значение физико-математических наук в развитии современной биологии

С. С. ШВАРЦ (Свердловск)

В последние годы становится все более очевидным, что дальнейший прогресс биологии связан с использованием достижений физики, химии, математики. Однако эта задача сталкивается с определенными трудностями не только практического, но и принципиального характера. На некоторые из них мы и хотим обратить внимание в этой статье, так как в публикациях на сходную тему<sup>1</sup> не затрагивались многие специальные аспекты, имеющие важное методологическое значение.

Биология — наука о жизни, наука об организмах. Какие бы детали ни вносились в это определение, несомненным остается одно: изучение любых проявлений жизни на Земле относится к компетенции биологии. Отсюда вытекает, что биологом с равным правом называет себя и физиолог простейших и зоопсихолог, имеющий дело с приматами. Совершенно естественно, что конкретные задачи, стоящие перед ними, различны, различны методы работы, различен и привычный круг понятий. Поэтому не удивительно, что биохимику, например, нередко легче найти общий язык с химиком, чем с биологом иного профиля. Такое состояние дел, по нашему мнению, чревато серьезной опасностью и настоятельно требует общего анализа путей прогресса биологии с учетом специфики ее отдельных дисциплин. Как мы попытаемся показать ниже, при рассмотрении связей биологии с физикой, химией, математикой это обстоятельство приобретает особое значение.

В ряде теоретических работ достаточно отчетливо определено место точных наук в развитии биологических исследований, в результате преобладающее большинство советских ученых исходит из достаточно хорошо обоснованных представлений о наличии специфических закономерностей, управляющих развитием органического мира, хотя вместе с тем отчетливо понимает, что отдельные звенья этих закономерностей подчиняются законам физики и химии. Большинство советских ученых считает, что сведение биологии к химии и физике, отрицание специфики биологических процессов, равно как и отрицание роли физико-химических закономерностей в биологических процессах, ведет к механицизму и идеализму. Однако для того, чтобы указанная методологически правильная трактовка взаимоотношений биологии с физикой и химией могла стать действенным руководством в практической работе биолога, необходим ее теоретический анализ с учетом специфики различных биологических дисциплин, положение которых в системе современных знаний различно.

<sup>1</sup> Г. В. Никольский «О некоторых вопросах взаимосвязи биологии с химией и физикой». Научные доклады Высшей школы, биологические науки, № 4, 1959. Г. М. Франк и В. А. Энгельгард «О роли физики и химии в исследовании биологических проблем». Материалы к Всесоюзному совещанию по философским вопросам естествознания, 1957. Б. М. Кедров «О соотношении форм движения материи в природе», там же.

Одни биологические науки признаются ведущими, другие — «классическими». Очень характерно в этом отношении высказывание академика А. Л. Курсанова, который в статье «Пути экспериментальной биологии» («Вестник АН СССР», 1964, № 7) пишет: «Могли ли мы предвидеть, что во второй половине столетия вследствие появления новых методологических возможностей экспериментальная биология достигнет такого небывалого размаха, а главенствующие прежде разделы описательной ботаники и зоологии приобретут в основном значение справочных материнских наук?»

К числу ведущих обычно относят именно те отрасли биологии, в которые в большей степени внедрились физико-химические методы исследования. В чем корни такого положения вещей, и правомерно ли оно? Для того, чтобы разобраться в этом, необходимо проанализировать те общие проблемы, которые возникают при внедрении физики и химии в биологию. Заведомо упрощая вопрос, можно следующим образом охарактеризовать состояние дел.

Живая природа создает уникальные по своим физико-химическим свойствам материалы. Изучая эти свойства живой природы, мы расширяем наши знания об окружающем нас мире, не говоря уже о значении практической стороны вопроса, связанной с моделированием «достижений» природы в технике. Вот простейший пример. Нить паука обладает совершенно уникальной прочностью, сочетающейся с уникальной же растяжимостью. Изучая физические свойства паутины, мы получаем ценные сведения о свойствах биополимеров, что представляет исключительный интерес с чисто химической точки зрения, и вместе с тем расширяем наши знания о живой природе. Принципиально то же самое можно сказать и о тех случаях, когда изучается, например, физика органов чувств, механика и механо-химия локомоции различных животных, превращение химической энергии в механическую или световую (этот процесс в животном мире далеко превосходит выдающиеся достижения современной техники) и т. д. Несмотря на кажущуюся разнородность исследований этого типа (к ним можно отнести даже такую общую проблему, как изучение функции мозга с позиции кибернетики), их объединяет одна общая особенность: они в известных пределах могут с успехом проводиться без учета важнейших биологических законов, например, эволюции приспособляемости (хотя проведение подобных исследований в эволюционно-экологическом плане значительно их обогащает). Вероятно, не случайно исследования по бионике нередко проводятся в стенах не биологических, а физических или химических институтов.

Совершенно другой характер имеют исследования, главная цель которых — углубить наше понимание собственно биологических закономерностей. Соотношение «биологии» с «физикой» и «химией» в них существенно иное. Это не всегда учитывается и может привести к нарушению нормального развития отдельных отраслей знания. Приведем один популярный пример. Общеизвестно, что одним из наиболее выдающихся достижений биологии нашего времени является установление роли нуклеиновых кислот в осуществлении специфического синтеза белков. Естественно, что эти результаты не могли бы быть достигнуты без привлечения весьма тонких физико-химических методов исследования. При этом нередко забывают, что эта важнейшая работа не могла бы быть выполнена и в том случае, если бы ей не предшествовал длительный период биологических наблюдений (изучение вирусов, гибридологические опыты, цитогенетика и др.) и совершенствования биологической методики. Этот пример имеет значение не только для анализа истории науки, но и для некоторых предвидений.

Привлечение физико-химических методов к изучению механизмов наследственности, с одной стороны, укрепило позиции хромосомной тео-

рии наследственности, так как они позволили подойти к изучению тех механизмов, которые определяют зависимость между физико-химическими свойствами хромосом и направлением синтеза белков. Однако в это же время стали накапливаться факты, ясно указывающие и на значение цитоплазмы в наследственности. Об этом свидетельствуют и многочисленные конкретные наблюдения и то внимание, которое было уделено этому вопросу на XI генетическом конгрессе в Гае (1963 г.). Это привело к известной трансформации в определении центрального понятия хромосомной теории наследственности — гена. Так, Р. Сэджер и Ф. Райн в недавно изданной книге («Цитологические и химические основы наследственности». Изд-во «Мир», 1964), которую редактор русского издания В. Л. Рыжков с полным основанием назвал уникальной, пишут: «Мы определяем ген в самом широком смысле как наследственный детерминант, альтернативные формы которого ответственны за развитие в определенном признаке. Мы не указываем ни на его локализацию в клетке (хромосомную или внехромосомную), ни на его химический состав (ДНК, РНК или белок)».

Казалось бы, явление цитоплазматической наследственности должно было бы привлечь к себе особое внимание физико-химиков, интересующихся проблемами биологии, с тем, чтобы на новом уровне вскрыты механизмы взаимодействия ядра и цитоплазмы в явлениях наследственности. Этого не произошло, и не произошло прежде всего потому, что еще не разработаны и не унифицированы достаточно надежные способы изучения цитоплазматической наследственности в гибридологическом эксперименте. Прогресс исследования физико-химических механизмов фундаментального биологического явления тормозит недоработанность биологической методики.

Подобных фактов можно было бы привести много. На первый взгляд они кажутся лишь частностями в развитии науки, в действительности же имеют принципиальное значение, так как ведут к расширению диспропорции в изучении отдельных явлений и, в конечном итоге, к неправильным теоретическим построениям. В самом деле, в настоящее время наиболее интересные результаты дают исследования тех биологических объектов, физико-химические методы изучения которых достаточно развиты. Это ведет к особо интенсивному развитию тех отраслей биологии, в которых уже возможно применение методов точных наук, что не всегда соответствует тому реальному значению, которое имеют они для изучения проблемы жизни. Диспропорция, таким образом, еще более увеличивается. Эта мысль в ее позитивной форме может быть выражена следующим образом. Для того, чтобы полноценно использовать возможности физико-химических методик в биологических исследованиях, они должны предусматриваться общей программой по разработке наиболее крупных проблем. На разных этапах ведущее значение приобретают различные методы, но программа в целом должна учитывать все возрастающие возможности физико-химического изучения отдельных звеньев биологических явлений и процессов. Этому положению мы придаем особое значение при анализе перспектив развития так называемых «классических» биологических наук — «справочных материнских наук», по выражению академика А. Л. Курсанова.

Что собой представляют эти справочные науки? Действительно ли их значение сводится к тому, что они помогают биологу-экспериментатору определить таксономическое положение объекта исследования (систематика), определить гомологию органов разных видов (сравнительная анатомия) или связать биохимические особенности отдельных форм с их образом жизни и условиями существования (экология). Действительно ли в этих науках не существует таких проблем, решение которых было бы соизмеримо по своему значению с задачами, стоящими перед молодыми отраслями биологии?

Этот вопрос стоит, казалось бы, в стороне от нашей темы, в действительности же он имеет к ней самое непосредственное отношение. Дело в том, что в наше время, когда отдельные отрасли биологии вышли на рубежи исследования базовых, элементарных биологических функций, классические науки уже не могут развиваться по-старому. Это положение не кажется самоочевидным, но в нем отражается глубокая диалектика развития науки.

Прежде всего следует отметить, что «классические» ботаника и зоология даже в лице их наиболее «классической» ветви — систематики — решают фундаментальный вопрос всей биологии: причины разнообразия органического мира и пути его эволюции. Когда говорят о справочной ценности этих наук, обычно просто забывают, что каталогизаторство (описательность) — это неизбежный этап развития биологии. Если бы этот этап не был в первом приближении пройден, мы не были бы свидетелями и фундаментальных открытий в области молекулярной биологии. Однако уважение к классическим наукам не должно выглядеть чем-то вроде дани их заслугам. Нужно видеть тенденции преобразования старых наук (если вообще допустить, что наука может стареть). Современные классические науки стали в полном смысле слова современными. Для анализа этого вопроса удобно воспользоваться все той же проблемой наследственности.

Когда говорят «код наследственной информации расшифрован», забывают, что мы находимся лишь на первом этапе расшифровки кода построения белковых молекул из аминокислот. Значение этого открытия нельзя ни уменьшать, ни отрицать, но нельзя также и не видеть, что наследственная информация реализуется в конкретных признаках лишь в процессе развития животного или растительного организма. Для того, чтобы успешно продолжать атаку на проблему наследственности, изучение процесса онтогенеза организма должно приближаться к уровню познания онтогенеза клетки (а также одноклеточного или доклеточного организма). Современный этап развития биологии требует резкого усиления исследований по одной из проблем, явно относящейся к компетенции современного варианта классических биологических дисциплин — зоологии и ботаники: изучения физиологии развития организмов в широком эволюционном и экологическом плане. Это требование определяется новыми методическими возможностями исследования элементарных процессов, управляющих отдельными звеньями реакций формообразования. Результаты некоторых новейших исследований делают это вполне очевидным (специфические ингибиторы, роль иммунобиологических реакций в поддержании целостности организма, влияние физиологического состояния материи на органогенез плода и др.). Результаты привлечения физико-химических методов исследования к подобным проблемам на первых порах будут, вероятно, менее эффективны, но это совершенно необходимый этап работы, и чем раньше он будет пройден, тем лучше, так как открытия в этой области неизбежно окажут обратное влияние и на изучение физико-химии клетки и обеспечат более гармоничное исследование развития организма в целом.

Нередко, исходя из некоторых общих положений о соотношении различных форм движения материи и известных практических задач, главную линию применения химических и физических методов в биологии усматривают в тех проблемах, которые по самому своему существу стоят на стыке биологии с другими науками (формы распространения энергии в живом субстрате, физико-химические основы наследственности, элементарные механизмы нервных реакций, иммунология, специальные разделы учения о питании или эндокринологии и т. п.). Однако не меньшее, а иногда и большее значение имеет внедрение методов точных наук в сугубо специфические биологические проблемы, касаю-

щиеся комплексных (следовательно, неэлементарных) биологических явлений. Ограничимся несколькими простейшими примерами, умышленно почерпнутыми из разных отраслей биологии.

Одним из важнейших достижений современной теоретической зоологии является учение о популяции как элементарной единице эволюционного процесса. Важнейшей предпосылкой эволюционных преобразований популяции является ее генетическая разнокачественность (неоднородность). Однако генетическая неоднородность популяций в громадном большинстве случаев маскируется фенотопической однородностью, проявляющейся не только во внешних морфологических признаках, но и в сложных физиологических процессах. Биологический смысл этого явления в настоящее время интенсивно изучается, но если бы удалось вскрыть его физико-химические основы (связать в одной проблеме физиологию индивидуального развития и микроэволюционный процесс), это означало бы, вероятно, серьезный шаг вперед в познании конкретных механизмов эволюции.

Не меньший интерес представляет пример, который внешне кажется противоположным. У пород домашних животных громадное морфологическое разнообразие (по масштабам соизмеримое с различиями между семействами диких животных) не сопровождается существенным изменением химизма внутренней среды организма. В соответствии с этим все породы одного вида неограниченно плодовиты (по крайней мере при искусственном скрещивании). Физико-химическое исследование этого вопроса имело бы основополагающее значение и для теории и для практики, но с этой стороны проблема почти не исследуется, так как в целом она находится в стороне от столбовой дороги внедрения в биологию физико-химических методов исследования. То же можно сказать и о других интересных биологических явлениях, связанных с домашними животными. Известно, что общие доместикационные изменения у животных, даже принадлежащих к различным классам, обладают поразительным сходством. Это интереснейшее явление дало материал для обсуждения многих кардинальных проблем эволюционного учения. Вместе с тем результаты этого поистине уникального эксперимента можно будет полноценно использовать только в том случае, если степень изученности данного явления будет доведена до уровня, позволяющего применять физико-химическую методику.

Другой пример из области энтомологии. Гусеницы некоторых бабочек при окукливании на листьях дают куколки зеленого цвета, на коре деревьев — коричневого. Указанные особенности гусениц не наследственны, и поэтому это явление получило название фенотопического полиформизма. Оказалось, что в развитии зеленых куколок наблюдается важная особенность: они развиваются очень быстро и к осени дают бабочку. Из коричневых куколок бабочка вылупляется только весной следующего года. Физико-химическое исследование этого явления позволило бы подойти к решению поистине важнейшей проблемы: каким образом специфические сигналы, поступающие из внешней среды (цвет субстрата), влияют на весь ход развития организма?

Разобранный пример смыкается с более общим. Многочисленные и разнообразные примеры показывают, что организмы, особо чутко реагирующие на изменение во внешней среде строго определенным образом, столь же чутко и принципиально в том же направлении реагируют и на изменение в их цитогенетическом аппарате. Не лишено вероятности, что вскрытие физико-химического механизма этого процесса привело бы к решению некоторых фундаментальных проблем биологии.

Классические науки (ботаника, зоология) накопили поистине громадное количество фактов, подобных перечисленным, физико-химический

анализ которых привел бы к не менее значительной революции наших знаний о природе биологических явлений, чем изучение собственно физико-химических основ жизненных явлений. По нашему мнению, возникающие при этом трудности связаны с серьезной методологической проблемой.

Физика и химия первоначально проникают в биологию на правах метода. Вскоре им становится тесно в этой роли, возникает биофизическая и биохимическая проблематика. Это исторически оправдано и прогрессивно, ибо на стыках наук можно ждать наиболее существенных открытий. Создалось, однако, впечатление, что в других отраслях биологии, в которых физика и химия и до сих пор выступают лишь как метод исследования, их значение второстепенно, случайно. Применение физики и химии в этих отраслях биологии кажется менее перспективным. Мы стремимся показать ошибочность такого представления. Лишь исторический анализ перспектив развития отдельных дисциплин и ясное понимание различных путей взаимосвязи физики и химии с биологией — и в области проблематики и в области собственно методической — поможет преодолеть это представление. Особое значение это положение имеет при анализе путей использования в биологии математических методов исследования.

Обычно принято считать, что антитезой описательной науки является эксперимент. Это представление далеко не всегда справедливо. Во многих науках проведение эксперимента возможно лишь в относительно очень редких случаях (физическая география) или в настоящее время невозможно (астрономия). Это не значит, что эти науки остаются описательными. Строгий математический анализ явлений, относящихся к компетенции этих наук, выводит их из разряда описательных, так как позволяет предвидеть ход явлений в количественном выражении с точно определяемой степенью достоверности. Многие биологические науки эту стадию развития проходят в настоящее время, они уже вышли из описательной стадии развития (что во многих случаях остается незамеченным), стали точными количественными науками. Внедрение математических методов исследования в биологию имеет самостоятельный интерес и вместе с тем ведет к ее дальнейшему прогрессу.

Неспециалисту кажется, что современная ботаника и зоология — это описание растений и животных и их сообществ, сделанное чуть-чуть лучше, чем несколько десятилетий тому назад. В действительности же современная ботаника и зоология научились, например, характеризовать динамику сообществ в энергетических терминах, создавая тем самым основу для сравнения таких, казалось бы, несравнимых природных объектов, как лес и глубины океана, вплотную подошли к созданию общей теории биологической продуктивности Земли, а следовательно, к общей теории управления этими процессами. Недалеко то время, когда мы сумеем описывать жизнь сложнейших природных комплексов в понятиях кибернетики, познаем в количественном выражении систему их управления и научимся сами управлять ими. Успех в этом направлении в значительной степени определяется внедрением математики в «классические» биологические дисциплины.

Здесь надо подчеркнуть тот же аспект проблемы, на котором мы фиксировали внимание ранее. Именно потому, что перед нами открываются перспективы кибернетического подхода к анализу наиболее важных биологических явлений не только на уровне организмов, но и на уровне популяций, биоценозов, биосферы, точное изучение отдельных «частностей» приобретает особое значение. Неспециалисту нередко кажется странным, что в век молекулярной биологии находятся люди, со скрупулезной тщательностью изучающие внешние проявления жизнедеятельности мха или птицы, довольствуясь при этом линейкой или весами. Важно понять, что подобные наблюдения именно сейчас могут иметь

особое значение, так как создается возможность воссоздать общую картину жизни экологической системы на основе использования современного аппарата исследований<sup>1</sup>. (Не случайно атомный центр США финансирует такие, например, исследования, как изучение скорости передвижения ящериц, см. «Herpetologica», 1964, 20, № 1.)

Другой аспект проблемы заключается в следующем: математическое преобразование данных первичных наблюдений прокладывает путь для внедрения физико-химических методов исследования. Для иллюстрации воспользуемся важными открытиями, сделанными в последнее время в области экологии. Возникло представление о популяционном гомеостазе, развитие которого создает возможность столь же точного предвидения реакции популяции на изменение внешних условий, как это во многих случаях возможно уже сейчас в отношении индивидуума (подробнее см. Шварц С. С. «Принципы и методы современной экологии животных». Труды Института биологии УФАН, Свердловск, 1960).

До тех пор, пока явления популяционного гомеостаза были изучены только с качественной стороны, возможности физико-химической методики здесь были крайне ограничены. Когда же феномен популяционного гомеостаза стал описываться в количественных терминах, появилась реальная возможность вскрыть и физико-химические механизмы отдельных слагаемых гомеостатических реакций и таким образом подойти к пониманию элементарных явлений и процессов на уровне биологических макросистем. Значение этого направления исследований трудно переоценить, так как оно создает вполне реальные предпосылки для создания теории управления биологическими процессами на уровне биосферы. Примеров подобного рода можно было бы привести много. Они показывают, что применение математики прокладывает пути для познания элементарных физико-химических механизмов сложных биологических явлений.

В заключение следует отметить, что расширение области взаимосвязи биологии с точными науками должно идти не только по линии проблемы, но и объектов исследования.

Элементарные механизмы основных биологических процессов, вероятно (с уверенностью этого все-таки сказать нельзя), едины во всей живой природе, но совершенно несомненно, что конкретное проявление этих механизмов, различно, оно развивается, эволюционирует. Воспользуемся для иллюстрации двумя примерами.

К. М. Хайлов в весьма интересной статье «Проблемы системной организованности в теоретической биологии» (Журнал общей биологии, том XXIV, № 5, 1963) обратил внимание на необходимость тщательного изучения организованности живой материи как ее изначального свойства. То, что любое живое существо — организованная система и что организация — важнейшее свойство живого, несомненно. Но кажется столь же несомненным, что характер этой организованности (ее степень), как и любое другое свойство живого, эволюционирует. Изучение этой эволюции важно не только в сравнительных целях; изучение эволюционных преобразований явления нередко является одним из важнейших средств познания сущности явления. Об этом нередко забывают, что особенно отчетливо дает себя знать как раз при изучении физико-химических основ биологических явлений. Воспользуемся для примера все той же проблемой наследственности. То, что физико-химические основы наследственности изучаются на простейших организмах (вирусы, бактерии, одноклеточные водоросли, грибы и т. п.), понятно. Удачный выбор объекта обеспечил получение выдающихся результатов. Но рас-

<sup>1</sup> Излишне, наверное, упоминать о том, что такого рода примитивные исследования в настоящее время имеют значение лишь в рамках большой и хорошо продуманной общей темы.



пространение выводов, полученных на основании изучения простейших организмов на высшие формы жизни, может быть проведено лишь с большой осторожностью. В данном случае мы можем даже не ограничиваться общим указанием на вероятную эволюцию элементарных биологических явлений, но и указать конкретно, с какими трудностями такая экстраполяция связана.

Изменение молекулы ДНК ведет к изменению синтеза белка. У бактерий измененный белок (о его изменении судят по измененной функции) и есть тот признак, наследственность которого изучается. У высших организмов дело обстоит принципиально иначе. Мы изучаем сложный признак, определяемый комплексом биохимических реакций, которые осуществляются в процессе развития организма. Исключая из физико-химического обследования высшие организмы, мы тем самым исключаем возможность понять элементарные процессы, лежащие в основе онтогенеза.

Подводя итог приведенным в этой статье соображениям, мы приходим к выводу, что в современной науке представлено два основных направления использования методов точных наук в биологии.

Первое из них связано преимущественно с изучением физико-химических или кибернетических особенностей биологических объектов. Не только в проведении этих исследований, но и в самой их постановке ведущую роль играют представители смежных с биологией наук. Данные исследования в меньшей степени связаны со степенью изученности биологической стороны вопроса и во многих случаях могут проводиться без учета онто- и филогенетического развития обследуемых объектов или систем.

Другая обширная ветвь исследований ставит перед собой задачу углубленного познания биологических явлений, то есть их целью является биологическая проблематика. Система постановки исследований здесь должна быть существенно иной. Степень изученности биологической стороны явления приобретает ведущее значение; в ряде случаев необходима первоначальная доработка биологической методики для дальнейшего исследования явления методами физики, химии, математики. Игнорирование эволюционного принципа и принципа развития не только затрудняет проведение исследований этого типа, но может привести к принципиально неверным выводам, несмотря на выдающиеся частные результаты. Работы этого типа — комплексные исследования, в которых направление физико-химических работ диктует биология.

