

ПРОБЛЕМА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ЗАТРУДНЕНИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ БИОЛОГИИ

Р.Б. Баяндин

Проблема интеграции разных дисциплин, используемых в них подходов и методов стала очень острой в конце XX – начале XXI в. Активную попытку ответить на этот вызов в наши дни предпринимает дисциплина, получившая название «эволюционная биология развития» (ЭБР). В статье показана сложность и неоднозначность использования в современных исследованиях старых концептуальных рамок на примере проблемы объяснения эволюционных новшеств.

Ключевые слова: философия науки, методологические проблемы эволюционной биологии, проблема концептуальных оснований и понятийного инструментария в науке, проблема эволюционных новшеств

В последние десятилетия как сами биологи, так и философы науки, специализирующиеся в области биологии, часто говорят о необходимости нового синтеза в биологических исследованиях, который завершит проект «современного синтеза», начатый в 30–40-х годах. Эволюционная биология развития (ЭБР) стремится ответить на этот вызов, объединив в себе различные исследовательские парадигмы, существующие сегодня. Под эволюционной биологией развития мы понимаем возникающую в настоящее время новую область исследования, которая пытается раскрыть сложную связь между двумя фундаментальными процессами жизни: онтогенезом и филогенезом. Конечно, вопрос о связях и взаимовлиянии процесса развития индивидуальной особи и эволюционных трансформаций на протяжении всей истории вида и жизни в целом встал еще в самом начале эволюционных исследований. Однако только в наши дни синтез данных самых разных сфер исследования в общую картину становится не просто возможным, но и актуальным. Эволюционная биология развития обещает объединить объяснительные парадигмы, используемые эволюционной биологией и популяционной генетикой, которые базируются на анализе «первопричин» (в понимании Э. Майра), с генетикой развития, предполагаю-

щей механистический подход к пониманию истоков структуры организмов как непосредственных причин в форме молекулярных и клеточных механизмов.

Вызов, стоящий перед ЭБР, – это необходимость интеграции разнородных методологических принципов, в основе которых лежат различные эпистемические допущения и которые вписаны в различные концептуальные рамки. К примеру, исследования эмбрионального развития, как известно, составляли значительную часть эволюционной парадигмы, однако впоследствии фокус эволюционных теорий сместился на популяцию (взрослых особей), что в итоге привело к значительному расхождению этих областей. Так, уже в 30-е годы XX в. эмбриология и генетика шли различными путями – вплоть до введения специальных терминов и издания собственных научных журналов. И вопрос, конечно, стоит не просто об интеграции, но о создании новой понятийной и методологической базы, которая сможет сама породить новые исследовательские программы. Об актуальности подобной интеграции довольно много пишут, особенно в последнее десятилетие, в том числе такие известные специалисты, как Н. Амундсон, Л. Кэрролл, Б.К. Холл, Г. Мюллер, Г.П. Вагнер и др. [1].

ЭБР – это междисциплинарный проект, в рамках которого многие исследователи осознают, что новый синтез возможен прежде всего на основе теоретических построений, а не только на основе новых эмпирических данных [2]. Именно указанным обстоятельством нас и заинтересовало это междисциплинарное поле, так как по нашему глубокому убеждению, вопросы теории и методологии, т.е. проблемы обоснования научного исследования с точки зрения философии науки, имеют фундаментальное значение для прогресса наук. Кроме того, именно ЭБР позволяет надеяться на прорыв в области восстановления утраченных органов, а также в понимании, предотвращении и лечении рака, что имеет огромную важность для медицины и для любого человека.

Говоря о содержании этого проекта, следует отметить тот факт, что в рамках биологии эволюционного развития, возможно неожиданно, приобрело центральное значение понятие так называемой регуляции [3]. Идея развивающей регуляции имеет долгую историю, восходящую к ранним концепциям организма как саморегулирующегося индивида, регенерации и поддержания внутренней среды и, конечно, к печально известной идее Х. Дриша об организме как саморегулируемой эквипотенциальной системе, управляемой энтелехией, – идее, ставшей в начале XX в. основой неовитализма. Однако мы знаем, что

эволюция всегда воспринималась как открытый процесс постоянной трансформации и, значит, во многих случаях являющийся полной противоположностью регуляции (подобное мнение мы можем встретить у Ж. Кангийема). Впрочем, соотношение развития и эволюции в реальности обстоит немного сложнее.

Как отмечает немецкий эволюционный биолог Г. Ош, эволюция никогда не может поставить знак «закрыто на реконструкцию» [4]. В действительности эволюционные трансформации, даже если они проявляются на уровне всей популяции, нуждаются в принудительном воплощении и в том, чтобы было возможным функционирование развивающихся систем индивидуальных организмов. И чем больше мы знаем о деталях этих развивающихся систем, о сложных регуляционных сетях и связях, которые контролируют проявления генов и их видоизменения в ходе онтогенеза, тем лучше мы понимаем эволюционные трансформации как следствие изменений в этих регулирующих системах и других развивающихся процессах. Тем самым представление о регуляции позволяет нам понимать одновременно стабильность индивидуального развития и возможность эволюционных трансформаций.

Для того чтобы понять теоретические предпосылки этого подхода, обратимся к истории возникновения исследований эволюционного развития. Некоторые ученые уже поспешили объявить эволюционную биологию развития «старым вином в новых мехах» (т.е. всего лишь дополнением к стандартной теории эволюции), справедливо отмечая, что вопрос о соотношении онтогенеза и филогенеза в осторожной форме, но настойчиво поставил уже Ч. Дарвин, а затем – Э. Геккель. Однако выводы Дарвина (на основе его наблюдений за казарками и выюлками), равно как и биогенетический закон Геккеля, фиксировали одностороннюю связь: стадии онтогенеза повторяют стадии филогенеза. Но возникает вопрос: если филогенез влияет на формы онтогенеза, то каково влияние онтогенеза отдельных особей на филогенетические процессы? Хотя эта связь интуитивно и схватывается любым эволюционистом, выявить и описать ее в деталях, с указанием непосредственных причин процессов до сих пор было крайне затруднительно. Впрочем, первые попытки продвинуться в этом направлении были предприняты еще в 1860 г. русским ученым-эмбриологом А. Ковалевским. В XX в. с появлением исследований в области физико-химических причин развития эти вопросы вновь актуализировались. Кроме того, уже в 1903 г. немецкий эмбриолог Х. Шпеманн решил узнать, где находится инфор-

мация о формировании эмбриона, и приступил к экспериментам. Эксперимент, поставленный в лаборатории Шпеманна его студенткой Х. Манголд, также стал одним из значимых моментов в формировании новой проблематики.

В середине XX в. Р. Голдшмидт и Д. Кюн попытались интегрировать генетику, развитие и эволюцию, однако их концепции не смогли создать единое поле для исследований, и поэтому вплоть до 80-х годов изучение развития шло в разных парадигмах, практически не имея теоретических и практических пересечений. Важно также отметить значение исследований Г. Пржибрама (Przibram), который в рамках экспериментальной биологии занимался наиболее сложными в теоретическом плане проблемами, такими как развитие, регенерация, эндокринология, экспериментальная эволюция и история жизни организмов. Работы Пржибрама и путь, на который он ориентировал других исследователей, позволяют считать его одним из предтеч биологии эво-дево. Непосредственной же почвой для возникновения проекта ЭБР послужили данные молекулярной биологии и проблемы палеонтологии, поставившие поставить вопрос о микроэволюционных процессах и механизмах в рамках вида и особи. Уже в 70-е годы для палеонтологов и эволюционистов стали очевидны два рода трудностей. Во-первых, на основе изучения найденных окаменелостей можно сделать вывод, что иногда эволюционные изменения происходят довольно стремительно и, напротив, некоторые периоды довольно статичны. Такой вывод ставит вопрос о том, чем детерминирована подобная «пунктированность» эволюционного процесса. Во-вторых, наблюдения за наиболее вероятными морфологическими моделями показывают, что морфологические признаки группируются в определенных доменах, а остальное морфологическое пространство в основном пустое. Это говорит в пользу версии, что морфологические изменения в большей степени связаны с процессами развития, такими как гетерохрония, нежели напрямую детерминированы генетическими факторами (см. исследования Н. Элдриджа и С. Гоулда [5]).

Неудовлетворенность прежними эволюционными теориями обусловлена также тем, что в большинстве из них преобладающая роль отводится адаптации. Адаптационная парадигма была подвергнута сомнению со стороны сторонников эволюционного развития, где акцент смещается к роли внутренних факторов эволюции. Внутренние условия, которые действуют во вторую очередь (а возможно, и в первую), не менее важны для описания процессов изменения, так как они

объясняют не только отдельные фрагменты окружающей среды, но и саму развивающуюся систему, которая на нее реагирует. Одним из примеров такого подхода стала теория Ридла – теория внутренних факторов, или системных условий, которая отвечала на оба запроса, объясняя как способность развиваться, так и иерархическую организацию организменных форм [6].

В качестве некоего итога теоретических дискуссий последних двух-трех десятилетий можно назвать признание плюрализма в подходах к онтогенезу и филогенезу, который сохраняется и в наши дни, за исключением возникающих время от времени попыток установить новый синтез. Попытка создания интегрирующей концептуальной системы для исследований эволюционного развития интересует и нас, – именно поэтому далее мы считаем целесообразным обратиться непосредственно к ЭБР.

Итак, эволюционная биология развития опирается на четыре основания: эксперименты на эмбрионах животных, изучение мутантов (*hopeful monsters*), открытие регулирующих генов и палеонтологию. Само же поле ЭБР представляется как конгломерат разных идей, выдвигаемых для объяснения макроэволюции и соотношения генотип – фенотип. Суть проблемы можно упростить до следующего заявления: пока мы не понимаем сам организм, его регуляцию, нет смысла в упрощенных моделях (подобно представлению о случайных мутациях в стандартной эволюционной теории).

В качестве общих направлений мы бы выделили три. Во-первых, общим местом является указание на то, что любые макроизменения, эволюционные инновации обязательно «доделываются» на микроуровне.

Во-вторых, для большинства исследователей характерна сосредоточенность на идее «пунктированной», неравномерной эволюции. Иными словами, в ЭБР главным образом разрабатывается концепция «сальтационной» эволюции, т.е. идея о быстрых макроизменениях без переходных форм. Отсюда в ЭБР другой подход к палеозаписи, которая воспринимается как она есть: с кембрийским взрывом и с разрывами при образовании новых планов [7]. Такой подход легко обосновать, ведь очень незначительные изменения на эмбриональном уровне влекут за собой качественные, скачкообразные изменения морфологии. Однако и у теории сальтационной эволюции много внутренних проблем (например, почему такая эволюция происходит в течение нескольких миллионов лет, а не столетия).

В-третьих, очень важно отметить попытку сознательно ввести в методологический инструментарий термины и категории, обозначающие информационную, интеллектуальную и даже телеологическую деятельность (как, например, «рекрутирование генов», «перепрограммирование», «эволюция как творческий процесс», «генетический инструментальный ящик», «обязательная постулируемая исходная сложность общего предка» и т.д.).

Все эти три направления реализуются в нескольких исследовательских программах.

1. Компаративная программа. Она важна для постановки новых вопросов и формулирования оснований для дальнейших исследований. К тому же компаративная программа позволяет ЭБР иметь дело с детализированным филогенезом, что необходимо для создания объяснительных гипотез.

2. Экспериментальная программа. Эта программа продолжает традицию экспериментальной эмбриологии и физиологии развития, однако теперь внимание сфокусировано на изучении механизмов развития. Именно благодаря экспериментальным исследованиям были обнаружены мастер-гены, т.е. гены, отдающие команду на формирование конкретного органа (например, ген глаза *Pax-6* или ген сердца *Tinman*). Удивительно то, что мастер-гены совершенно одинаковы и у насекомых, и у позвоночных, в то время как другие гены (рабочие), кодирующие детали форм органов (например, глаза или сердца), различны.

3. Программа ЭБР генетики. Фактически это самая наглядная часть ЭБР. Исследования, направленные на изучение генетических компонентов развивающихся систем, начались с открытия НОХ-генов. В рамках этих исследований и был создан концепт «генетический инструментальный ящик», т.е. сформулирована идея о наборе регулятивных элементов, которые вовлечены в развитие главных черт и органов тел животных. В последнее время также актуально комбинирование компаративной программы с изучением генетического инструментария развития.

4. Теоретическая и вычислительная программа. Эта часть ЭБР наиболее известна как разработка формальных и математических подходов в дополнение к более строгим, давно признанным концептуальным идеям. Теоретическая программа особенно важна, так как дает возможность концептуальной унификации различных экспериментальных подходов. Она также представляет собой дисциплинарный проти-

вовес программе эволюционной генетики развития. Они опираются на разные эпистемические допущения и разные объяснительные схемы. Представителей биологии развития больше интересуют структурные и типологические объяснения, базирующиеся на представлениях о молекулярных и клеточных механизмах, в то время как эволюционные биологи фокусируются на динамических процессах, происходящих на уровне популяции и вида. Теоретическая работа также позволяет добавлять в изучение развития новые методы и представления. Сегодня данные различных геномов нуждаются в идентификации развивающих генов и установлении их эволюционной истории. Количество функциональных описаний генов в этих базах данных возрастает, и потому онтология генов становится более сложной и замысловатой, так что, возможно, очень скоро для выделения информации о развивающих генах понадобится очень детальное понимание эволюции развивающихся систем.

Рассмотрим проблему названного выше концептуального синтеза на примере подходов к объяснению эволюционных новшеств и инноваций. Здесь надо отметить, что в эволюционной теории этот вопрос всегда оставался неразрешенным, и ссылки на «нередуцируемую сложность» (взятые из концепции разумного замысла) были столь же неэффективны для его решения, что и парадигма изменчивости как неуправляемого процесса случайных вариаций. Однако суть в том, что именно эти ссылки всегда были имплицитно включены в эволюционную теорию, что долгое время мешало признавать и выделять свидетельства того, как нечто новое актуально возникает в процессе эволюции. К примеру, уже в 1940 г. Р. Голдшмидт, основываясь на своих экспериментах, высказал гипотезу о том, что макроэволюция есть результат системных мутаций (макрмутаций), т.е. наследственных изменений, затрагивающих всю систему генотипа и несводимых к изменениям отдельных генов. Именно Голдшмидт ввел в обиход яркий образ «обнадеживающего монстра» (*hopeful monster*) – носителя такой макромутации. Однако долгое время его концепция находилась на периферии внимания ученых, и интерес к ней оживился лишь в 90-е годы, а сейчас тема обнадеживающих мутантов приобрела научную респектабельность.

Поэтому прежде всего следует сразу же отметить, что проблема эволюционных новшеств – это теоретико-методологическая проблема, а не проблема конкретных исследований. Чтобы разрешить эту ситуа-

цию мы должны прежде всего определить само понятие «эволюционное новшество». Здесь мы имеем два аспекта проблемы:

1) что считать новым. В первую очередь мы должны решить, как определить, что данное изменение является новым (качественно или по степени) по отношению к прежним чертам. Ведь и в компаративном анализе (сравнение морфологии или генов), и в анализе последствий изменения (анализ физиологии, поведения и т.п.) мы будем оперировать уже имеющимися концептуальными определениями, что считать новым, изменением, полезным, второстепенным и т.д.;

2) что считать именно эволюционным новшеством. Обычно под эволюционным новшеством мы понимаем некоторое полезное приобретение для вида, а значит, нам необходим критерий такого качества. Затруднение здесь состоит в неизбежных антропоморфизме и историзме наших представлений о подобных приобретениях. Очевидно, что в качестве эволюционных новшеств мы рассматриваем только то, что обладает неким значением для адаптации, выживания, т.е. нечто полезное и рациональное. Таким образом, мы переносим свои (чисто человеческие) представления о пользе и рациональности на природу. Но всегда ли это правомерно? Следуя идеалу постнеклассической науки, мы должны осознать подобные методологические установки.

Второй из указанных аспектов можно проиллюстрировать таким примером. В рамках ЭБР есть весьма перспективный проект экспериментальной проверки гипотез об эволюционных инновациях на социальных насекомых. Проблема же заключается в том, что мы можем излишне проецировать на них свои представления о социальности и рациональности. Так, в исследованиях поведения пчел нередко можно встретить подобные псевдообъяснения «от человека», как если бы человек был пчелой и мыслил, что ему полезно и что удобно. Однако если в рамках только человеческого вида мы можем обнаружить совершенно различные модели эвристического поиска (например, у первобытных племен и у современного человека), то почему бы не предположить, что у эусоциальных животных также есть своеобразные модели поиска подходящего поведения.

Суть подобных проблематизаций состоит, конечно, в том, что мы должны осознать и учитывать подобные затруднения, но никак не в отказе от проектов и исследований.

Данные исследований помогают нам отбросить некоторые гипотезы. Характерным примером этого является изучение генома человека. Первая «черновая» расшифровка генома человека была закончена в 2001 г. Было обнаружено, что большая часть генов (около 19 тыс. из 30 тыс.) уже присутствуют в геноме простых червей-нематод. Более того, многие значимые регулятивные гены (например, НОХ-гены) обладают высокой степенью консервативности (т.е. не менялись в течение сотен миллионов лет). Сегодня мы определенно знаем, что новые черты не возникают просто вследствие появления новых генов или рекомбинации старых. Однако долгое время сама идея о возможности наличия идентичных генов у неродственных организмов считалась бесполезной, если не бредовой (такого взгляда придерживался Э. Майр – весомый авторитет в этой области).

Открытие общих регуляторных генов (мастер-генов) привело к созданию концепции «генетического инструментального ящика» (genetic toolkit). Оказалось, что у эволюции для создания новых форм едва ли не изначально был стандартный набор инструментов. И это поразительно само по себе, но еще более поразительно и совершенно необъяснимо в стандартной эволюционной теории. В рамках последней бытовало мнение (не эксплицированное), что для всякого новшества эволюция создает и новые условия, т.е. новые основания для существования. Это оказалось не так.

Как же тогда современная генетика отвечает на вопрос о том, что ответственно за очевидную разницу между организмами и, следовательно, за возникновение новых структур в ходе эволюции? Ответ ЭБР вкратце таков: эта разница заключается в развивающих системах организмов и в специфических изменениях, происходящих в сетях регулятивных генов. Иными словами, один и тот же механизм отвечает как за дифференциацию клеток в ходе онтогенеза особи, так и за возникновение различий в ходе эволюции, т.е. в филогенезе [8]. Удивительно, но такой ход мы вполне могли бы заимствовать из философии: довольно часто (даже на интуитивном уровне) нам понятно, что механизмы кратких процессов отвечают также и за формирование более долгих циклов, процессов. Как пример вполне подходит известная сентенция: «Посеешь поступок – пожнешь привычку, посеешь привычку – пожнешь характер». Очевидно, что в разных философских системах мы можем найти более подробные методологические и систематические разработки таких ходов, особенно в диалектике. Начиная с Гегеля сформированы весьма добротные и полезные инструментальные поня-

тия для описания и объяснения диалектики единичного и всеобщего, частного и общего, конкретного и абстрактного, уникального и универсального. Конечно, для большей обоснованности такого заявления можно попробовать приложить эти схемы к какой-либо теоретической проблеме.

Так, сейчас в рамках изучения эволюционных новшеств в ЭБР исследуется проблема соединения объяснительных моделей генетики и эволюционной биологии. Обычно она представлялась следующим образом: как переформулировать общие положения эволюционной биологии с учетом частных моментов генетики? На наш взгляд, такой ход неоправдан, поскольку он предполагает внесение дополнений в «защитный пояс» (по Лакатосу) теории, а не изменение ее ядра, которое уже не вписывается в данные. Напротив, следовало бы представить данные генетики не просто как частные, а как претендующие на общность, т.е. совершить диалектический переход – саму эволюционную биологию с ее понятийным инструментарием перевести их разряда объяснительных парадигм в разряд частных теорий, релевантных лишь на определенном уровне рассмотрения (макроуровень популяции).

Выход из ряда тупиков, на наш взгляд, состоит не только в создании новых понятий и новых подходов, но и в осмыслении границ и переходов между понятиями, т.е. в диалектическом переосмыслении наших концептуальных оснований. Иными словами, нужно также осознать, что ограничения и недостаток понимания – это также позитивные условия исследования. Дело в том, что иногда противоречия оказываются лишь «кажущимися» из-за наших понятий – как в случае с генетикой (новизна не в новых генах или их перекombинациях) или с идеей регуляции (которая вовсе не противоречит изменениям, а напротив, участвует в них).

В этом и состоит суть науки: мы узнаем больше, и нам приходится пересматривать наши прежние представления, не только факты и их объяснения, но и формирующие их теоретические конструкции. Таким образом, пересмотр этих теоретических конструкций может дать прирост фактического знания науки. На наш взгляд, перед биологией сегодня стоит трудная задача: в рамках одного поколения ученым требуется пересмотреть свои «парадигмальные установки», т.е. провести очень качественную работу над своим умом, его содержанием. Вполне возможно, что усилия одного ученого или научного коллектива по пересмотру тех терминов и моделей, которые создают их ментальную картину, могут привести к очередной революции. Философия науки может

указать нам путь, дать необходимые знания и методы, но, увы, она не может произвести переворот за самих ученых.

Примечания

3. См.: *Davidson E.H.* Genomic Regulatory Systems: Development and Evolution. – San Diego, CA: Academic Press, 2001.

1. См.: *Hall B.K.* Evo-devo or devo-evo – does it matter? // *Evolution and Development*. – 2000. – V. 2, No. 4. – P. 177–78; *Доказательства эволюции* / Под ред. А.В. Маркова. – URL: www.evobiol.ru/evidence.htm (дата обращения 06.10.2010); и др.

7. См.: *Love A.C., Raff R.A.* Knowing your ancestors: Themes in the history of evo-devo // *Evolution and Development*. – 2003. – V. 5, No. 4. – P. 327–30.

4. См.: *Muller G.* Evolutionary developmental biology // *Handbook of Evolution: The Evolution of Living Systems Including Hominids* / Ed. F.M. Wuketits, F.J. Ayala. – Weinheim: Wiley-VCH, 2005. – V. 2. – P. 89.

5. См.: *Wagner G.P.* What is the promise of developmental evolution? P. I: Why is developmental biology necessary to explain evolutionary innovations? // *Journal of Experimental Zoology*. – 2000. – V. 288, No. 2. – P. 95–98.

6. Ibid.

2. См.: *Воробьева Э.И.* Evo-devo и концепция эволюции онтогенеза И.И. Шмальгаузена // *Известия РАН. Сер. биологическая*. – М.: Наука, 2003. – № 2. – С. 141–148.

8. См.: *Воробьева Э.И.* Evo-devo и концепция эволюции онтогенеза И.И. Шмальгаузена.

Дата поступления 22.06.2010
Институт философии и права
СО РАН, г. Новосибирск
rommb@yahoo.com

Bayandin, R.B. The problem of conceptual difficulties in modern evolutionary biology

The problem of the integration of various disciplines and corresponding approaches and methods became extremely sharp in the end of the 20th and the beginning of the 21st centuries. These days, the discipline which has got the name “evolutionary biology of development” (EBD) actively attempts to meet the challenge. The paper shows that the use of the previous conceptual framework in modern research may be complicated and ambiguous, the problem of explanation of evolutionary innovations is taken for example.

Keywords: philosophy of science, methodological problems of evolutionary biology, the problem of conceptual bases and toolkit in science, the problem of evolutionary innovations