Контуры протоэволюции

Лучше не сказать: «Ничто в биологии не имеет смысла, кроме как в свете эволюции»[1]. Давно сложились и широко известны два пласта эволюционных работ. *Микроэволюция* исследует законы существования популяций и процессы видообразования методами генетики и популяционной экологии. Предметом *макроэволюции* служит формирование надвидовых таксонов преимущественно на основании сравнительной анатомии. Подвигло меня к написанию этого письма то обстоятельство, что буквально в последнее десятилетие быстро складывается новое направление исследований биологической эволюции, которое логично назвать *протоэволюцией*. Несколько забегая вперед, отмечу и функциональные рамки этого явления-процесса — от первых шагов зарождения жизни в «калиевой среде» до выхода сформированных эукариот в «натриевое море», подобное в химическом отношении современному океану. Далее эти понятия будут уточнены.

Следует отметить, что протоэволюция утверждается на развалинах двух аксиом, прочно господствовавших в середине ушедшего столетия. Первая — Энгельсова точка зрения о жизни как о форме существования белковых тел — пошатнулась, когда выяснилось, что белки не могут образовываться иначе как при участии нуклеиновых кислот, ДНК и РНК. А затем были описаны такие РНК, которые, обладая, подобно белкам, каталитическими свойствами, могут самовоспроизводиться. Возникло представление о том, что первым проявлением жизни мог быть безбелковый «мир РНК»[2]. Вторая аксиома, утверждающая, что жизнь зародилась в море, с химическим составом, близким современному, базировалась на столетней давности работе А.Макаллума[3]. Он обнаружил сходство жидкостей внутренней среды (лимфы, гемолимфы, полостной жидкости) с морской водой и счел это «море внутри нас» следствием происхождения по крайней мере животных в океане. Этой же позиции придерживался и я, приводя в качестве доказательства[4] тот факт, что величина солености морской воды, при которой происходили первые шаги жизни, была около 5—8‰.

В последнее десятилетие Ю.В.Наточин[5] энергично обращает внимание на то обстоятельство, что нуклеиновые кислоты, РНК и ДНК, биологически активны, т.е. витальны, только в «калиевой среде». Тем самым была возрождена вторая, более поздняя теория А.Макаллума[6], который на основе анализа на этот раз внутриклеточной жидкости с доминированием в ней ионов калия над катионами натрия и с повышенной концентрацией ряда металлов, предположил, что жизнь зародилась не в современном «натриевом море», а в древней «калиевой среде». В целом мы можем сейчас утверждать, что первые формы жизни возникли в виде «мира РНК» в калиевой среде и в бескислородной атмосфере.

Очень неожиданными оказались поиски аналогов таких животворящих калиевых сред. Современный натриевый океан не подходит именно по причине обилия вредного натрия и постоянной опасности гидролиза спонтанно синтезированных слагаемых РНК — сахаров, азотистых оснований и фосфатов. По той же причине не годились и излияния на дне океанов «черных курильщиков». Неожиданно убедительными оказались дан-

[1] «Nothing in biology makes sense except in the light of evolution» — ставшее афоризмом название статьи выдающегося генетика, одного из основателей синтетической теории эволюции Ф.Г.Добржанского (The American Biology Teacher. 1973. V.35. №3. P.125—129). — *Примеч. ред.*

[2] См. обзоры А.С.Спирина: Рибонуклеиновые кислоты как центральное звено живой материи // Вестник РАН. 2003. Т.73. №3. С.117—127; Происхождение, возможные формы существования и размеры первозданных особей // Палеонтол. журн. 2005. №4. С.25—32.

[3] *Macallum A.B.* The inorganic composition of the blood in invertebrates and vertebrates and its origin // Proc. Roy. Soc. London. Ser.D. 1910. V.82. P.602—624.

[4] *Хлебович В.В.* Критическая соленость биологических процессов. Л., 1974.

[5] См. работы *Ю.В.Наточина*: Физико-химические детерминанты физиологической эволюции: от протоклетки к человеку // Физиол. журн. 2006. Т.92. №1. С.57—71; Физиологическая эволюция животных: натрий — ключ к разрешению противоречий // Вестник РАН. 2007. Т.77. №11. С.999—1010.

[6] *Macallum A.B.* The paleochemistry of the body fluids and tissues // Physiol. Rev. 1926. V.6. P.316—357.

ные и соображения о том, что все, что необходимое для возникновения жизни, можно найти в градиенте условий наземных геотермальных полей[7]. Важным моментом разных этапов биогенеза, естественно, всегда нужно было считать энергетическое обеспечение соответствующих процессов[8]. Анализ процессов протоэволюции начиная с мира РНК проводится как «снизу» (по эволюционной лестнице), так и «сверху». Ярким примером анализа «сверху» служат работы под руководством Е.В.Кунина[9]. В них сначала определена доля общих генов у представителей двух царств прокариот — архей и бактерий, затем на этом основании выявлены структура и функция общих белков и в конце концов реконструирован общий предок — LUCA (Last Universal Common Ancestor).

Первый субъект жизни — самовоспроизводящаяся в калиевой среде РНК — начал свой путь в два-три миллиарда лет, постоянно прерываемый индивидуальной смертью и благодаря ей совершенствуясь в потомках (истинно: «Смертию смерть поправ!»). Вокруг РНК должно было образоваться нечто защитное и изолирующее. Появились ДНК, белки, мембраны. Отмечается, что с самого начала организмы, подобные LUCA (да и ниже их), могли существовать только обмениваясь специализированными продуктами. Действительно, организмы возникли вместе с их биотическими экологическими отношениями.

Тип питания (фагоцитоз) и изначальное отсутствие иммунитета привели к далеко зашедшему симбиогенезу — превращению симбионтов в органеллы.

Величайшим экологическим кризисом Наточин[10] считает встречу калиевой среды организма с натриевым океаном. Увеличение концентрации натрия вокруг внутриклеточных нуклеиновых кислот оказалось грозным препятствием всему живому (а оно к тому времени стало довольно разнообразным). Предки водорослей получили мощные углеводно-белковые оболочки, грибы — хитиновые. И только животные приобрели для спасения от вторжения в клетку натрия активный механизм натриевого насоса — калий-натриевую аденозинфосфатазу. Встроенный в наружную мембрану натриевый насос одновременно изгонял из клетки вредный натрий и вводил в нее полезный калий. На основе этого механизма вторично возникли другие виды транспорта через мембраны. Наточин считает, что на основе работы натриевого насоса возникла поляризация животных клеток, способствовавшая возникновению многоклеточности и клеточной дифференцировке. На основе действия натриевого насоса возник и электрогенез — предтеча нервной системы. Одним словом, особая биологическая активность животных связана с работой в них натриевого насоса. На это тратится до 30% потребляемой энергии.

Интересно, что есть еще одна стратегия вхождения эукариот в опасный натриевый океан. Все микроспоридии — внутриклеточные паразиты только животных и все лишены натриевого насоса[11] — очевидно «въехали» в натриевое море и затем разошлись по всем средам, используя регулируемую калиевую среду клеток своих хозяев.

Удивительно, но сейчас уже можно обсуждать ту концентрацию ионов натрия, начиная с которой он стал вреден и возникла острая необходимость в появлении натриевого насоса у предков животных. Такая (названная мной критической) соленость внешней и внутренней среды составляет около 5—8‰. Ниже этого барьера пойкилосмотические (т.е. не способные регулировать внутреннюю соленость и осмотическое давление) морские организмы жить не могут, а пресноводные животные благодаря осморегуляции — могут. Когда соленость натриевого моря достигла около 8‰, период протоэволюции завершился. К тому времени уже сформировались таксоны эукариот, была освоена кислородная атмосфера; приближался кембрийский взрыв с образованием знакомых нам типов животных.

Можно думать, что процессы протоэволюции, завершившиеся выходом организмов в натриевый океан, имели некоторую специфику, которая в более позднее время не проявлялась или была выражена в меньшей степени. Очевидно, раньше неизмеримо большую роль играли процессы симбиогенеза и горизонтального переноса генов.

Это письмо — обращение к коллегам-биологам разных поколений: внимательно следите за бурно развивающимся разделом эволюционного учения, что должно обогатить ваши знания и деятельность. Велика роль в этих исследованиях наших настоящих или бывших соотечественников. Их имена — Д.В.Диброва (D.V.Dibrova), М.Гальперин (M.Y.Galperin), А.С.Кондрашов (A.S.Kondrashov), Е.В.Кунин (E.V.Koonin), К.С.Макарова (K.S.Makarova), А.Я.Мулкиджанян (A.Y.Mulkidjanian) и др. — надежные ключевые слова при поиске в Интернете.

© В.В.Хлебович,
доктор биологических наук
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

[7] *Mulkidjanian A.Y., Bychkov A.Yu., Dibrova D.V. et al.* Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields // Proc. Nat. Acad. Sci. 2012. V.109. №14. P.821—830.

[8] *Lane N., Martin W.F.* The origin of membrane bioenergetics // Cell. 2012. V.151. P.1406—1417; *Mulkidjanian A.Y., Galperin M.Y., Makarova K.S. et al.* Evolutionary primacy of sodium bioenergetics // Biol. Direct. 2008. V.3. P.3—13.

[9] *Кунин Е.В.* Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М., 2014.

[10] См. упомянутые работы Ю.В.Наточина.

[11] Проверено по моей просьбе в авторитетной лаборатории, которой руководит И.В.Исси, во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений.