

УДК 612.67:6120019

## **ПЕРЕЛОМНЫЙ ЭТАП В ЭВОЛЮЦИИ METAZOA, УСКОРИВШИЙ ЕЕ**

**А.В. Макрушин<sup>1</sup>, Н.В. Аладин<sup>2</sup>, А.С. Васильев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок  
(Ярославская область)

<sup>2</sup>Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

Статья основана на сопоставлении жизненной стратегии модульных и унитарных Metazoa. Усложнение строения особи, происходившее в ходе эволюции, снижало способность ее клеток к передифференциации. Из-за этого ее анцестральные свойства предотвращать старение и размножаться бесполо большинством существующих ныне видов утрачены. Эта утрата – переломный этап в эволюции. Она ускорила ее и этим повысила приспособляемость популяций к изменениям среды.

**Ключевые слова:** *модульные животные, старение, бесполое размножение, приспособляемость.*

DOI: 10.26456/vtbio170

У видов, находящихся близко к основанию эволюционной лестницы Metazoa, в теле происходят процессы, предотвращающие старение. Эти виды обладают способностью к бесполому размножению. Цель статьи – обсудить, какое влияние на скорость эволюции и на приспособляемость популяций оказала утрата большинством Metazoa утрата потенциального бессмертия и способности размножаться бесполо.

***В ходе эволюции возможности предотвращения старческих изменений в организме сужались.*** Эта статья основана на сопоставлении жизненной стратегии модульных и унитарных Metazoa. Концепции модульной организации особи посвящен сборник «The growth and form of modular organisms» (Proc..., 1986) и статьи (Нотов, 1999; Марфенин, 1999). Модульным Metazoa посвящена книга О.М. Ивановой-Казас (1977). Организмы делятся на модульных и унитарных. Модульные – это те, которые размножаются половым и бесполом путем, унитарные – только половым. При бесполом пути особь образуется из комплекса соматических клеток или из части тела особи. Партеногенез – это половое размножение. Модуль модульного животного – это образовавшаяся путем бесполого размножения особь, генетически идентичная родителю. Модульные животные делятся на две группы. У представителей первой модули не отделяются от

родителя, а сохраняют с ним физиологическую связь. Это сидячие беспозвоночные – губки, гидроидные и коралловые полипы, мшанки, внутриворончатые и колониальные асцидии. У представителей второй группы образовавшиеся путем бесполого размножения модули ведут самостоятельную жизнь. Представители второй группы есть среди гребневиков, турбеллярий, немертин, кольчатых червей и иглокожих (Иванова-Казас, 1977). Часть этих свободно подвижных беспозвоночных размножаются только половым путем, то есть они уже унитарные.

Всякая вновь возникшая система (организменного, надорганизменного уровня или многовидовая) сначала устроена просто. Количество функционально различных элементов в ней невелико и эти элементы мало дифференцированы. В ходе эволюции при наличии в среде недоиспользуемых энергетических ресурсов и возможности их использования количество функционально различных элементов в системе растет, элементы становятся все более дифференцированными, а целостность системы (зависимость ее частей от целого) увеличивается. Это позволяет ей полнее использовать энергетические ресурсы среды. Благодаря увеличению энергопотребления поток энергии, проходящий через систему, становится все больше. Возрастает и ее энерговооруженность. А чем больше энерговооруженность системы, тем больше у нее шансов выжить в борьбе за существование и не быть отсеянной естественным отбором (Одум, Одум, 1978; Фокс, 1992; Жерихин, 2003; Исаева, 2005).

Эволюция Metazoa – частный случай эволюции биосистем. В организме в ходе эволюции количество функционально различных клеток росло, клетки становились все более дифференцированными. Это позволяло ему полнее использовать энергетические ресурсы среды и энерговооруженность его поэтому росла. Увеличение энерговооруженности давало организму преимущество в борьбе за существование перед менее энерговооруженными организмами (Зотин, 1984; Зотин, Зотин, 1995; Зотин и др., 1998).

Существует предположение, что первые на Земле Metazoa были сидячими и модульными (Larsson, 1963; Jagersten, 1972; Марфенин, 1999 и др.). У современных сидячих модульных беспозвоночных количество функционально различных клеток в организме и их дифференцированность по сравнению с другими животными наименьшие. Только у них благодаря низкой дифференцированности клеток производные одного зародышевого листка могут превращаться в производные другого (Иванова-Казас, 1977). У свободно подвижных модульных видов количество функционально различных клеток в организме и их дифференцированность больше. Еще больше количество функционально различных клеток в организме и их

дифференцированность у унитарных видов. Если правы авторы, считающие, что первые на Земле Metazoa были сидячими и модульными, то эволюция Metazoa – это превращение первых на Земле сидячих модульных видов сначала в свободно подвижных модульных, а затем в унитарных. При этом дифференцированность клеток и сложность строения организма росли, а его энерговооруженность становилась все больше.

У особей унитарных видов онтогенез необратим. Они умирают не только от внешних причин, но и от внутренних – от эндогенного снижения гомеостатических свойств, то есть от старения. В отличие от унитарных у особей многих модульных видов онтогенез обратим. Они от старости не умирают. Сравним способы, с помощью которых сидячие и свободно подвижные модульные виды избегают старения. Наиболее разнообразны эти способы у сидячих модульных беспозвоночных. Особь у них – это колония (Jackson, Coates, 1986). Первый способ избегания ею старческих изменений – это переход в эмбриональную диапаузу. Взрослые модули при этом переходе рассасываются и материал, из которого они состоят, служит для построения диапаузирующих соматических зародышей. У губок они называются геммулами, у стрекающих – подоцистами, у мшанок – статобластами, у внутриворончатых и колониальных асцидий покоящимися почками. Геммулы губок схожи с морулой, соматические диапаузирующие зародыши других сидячих модульных беспозвоночных – с бластулой или с гаструлой (Иванова-Каас, 1977). Образование диапаузирующих соматических зародышей у сидячих модульных видов – это возвращение особи в эмбриональное состояние. Второй способ – это редукция. При редукции происходит уменьшение размера модулей, гибель и/или дедифференциация всех его дифференцированных клеток. Модули при редукции превращаются в редукционные тела, по строению схожие с ранними зародышами (Иванова-Каас, 1977). Редукция – это тоже возвращение особи в эмбриональное состояние. Третий способ – это обновление модульного состава колонии. Срок жизни модулей у модульных организмов ограничен. На смену одним образуются другие. Благодаря обновлению старая модульная особь состоит из молодых модулей. Наличие у сидячей модульной особи этих трех способов предотвращения старения делает ее потенциально бессмертной (Harper et al.; 1986; Orive, 1995; Gardner, Mangel, 1997). Колонии некоторых кораллов имеют возраст сотни тысяч лет (Harper et al., 1986).

Меньшим числом способов избегания старости обладают свободно подвижные модульные беспозвоночные. Они в отличие от сидячих стареют. Старение у них наступает после нескольких актов бесполого размножения (Иванова-Каас, 1977). Некоторые из них

(турбеллярии и немуртыны) обратимо возвращаться в эмбриональное состояние могут, но только путем редукции (Иванова-Казас, 1977). Образовывать диапаузирующие соматические зародыши они не способны. Таким образом, у Metazoa в ходе эволюции происходило снижение способности предотвращать старческие изменения в организме.

***Снижение у особи способности предотвращать старение – результат естественного отбора.*** Чем ниже дифференцированы клетки организма, тем сильнее у них выражена способность к передифференциации. У сидячих модульных беспозвоночных (и только у них), как сказано выше, производные одного зародышевого листка могут превращаться в производные другого. У них клетки среди Metazoa наименее дифференцированные. Образование диапаузирующих соматических зародышей и редукционных тел, а также зародышей новых модулей при обновлении модульного состава сидячей модульной особи, начинается с дедифференциации клеток. В ходе ее клетки специализацию утрачивают. После этой дедифференциации клетки дифференцируются в новых направлениях (Иванова-Казас, 1977). Следовательно, сидячим модульным видам предотвращать появление в организме старческих изменений позволяет высокая способность их клеток к передифференциации. Свободно подвижным модульным видам предотвращать появление в организме старческих изменений (путем редукции) позволяет тоже эта способность.

В результате естественного отбора строение организма усложнялось, количество функционально различных клеток в нем, то есть их дифференцированность, увеличивалась, а способность клеток к передифференциации из-за этого слабела. Снижение способности клеток к передифференциации вело к тому, что у особи способность предотвращать старение снижалась. Это привело у Metazoa к утрате способности предотвращать старение, то есть к возникновению унитарных видов.

Рост дифференцированности клеток тела особи, происшедший в ходе эволюции, привел еще и к тому, что самые высоко дифференцированные ее клетки из-за утраты способности к размножению стали необновляемыми. Необновляемые они стали еще из-за снижения у клеток способности к передифференциации. Необновляемые клетки играют ключевую роль в поддержании гомеостаза организма. Но они в силу второго начала термодинамики рано или поздно, но обязательно, разрушаются. Их утрата – это старческая инволюция. Она снижает гомеостатические свойства особи и ее смерть становится из-за этого неизбежной. Таким образом, старение – это результат не активного самоубийства, как

думает В.П. Скулачев (1999, 2012), а пассивное следствие того, что у клеток особи отсутствует способность к передифференциации и поэтому она не может возмещать отмирание необновляемых клеток образованием вместо них новых.

Из изложенного следует, что не стареют только виды, находящиеся близко к основанию филогенетической лестницы Metazoa, и что унитарные виды стареют все. Но распространено мнение, согласно которому особи некоторых унитарных видов потенциально бессмертны. Так, В.П. Скулачев (2012) пишет, что не стареют морской еж, крупные крабы, моллюск жемчужница, щука, акула, морской окунь, жаба, гигантская черепаха, крокодил, ворон, альбатрос, кит, голый землекоп и летучая мышь. Причина отнесения этих унитарных животных к нестареющим в том, что наблюдение за ними велось недостаточно долго.

***Утрата способностей предотвращать старческие изменения организма и размножаться бесполо ускорила эволюцию.*** При бесполом размножении часть тела особи дает начало другой или другим особям. По отношению к модульному животному, сидячему и свободно подвижному, термин «индивид» (неделимый) неприменим. Вместо него используется термин «генета». Генета – это совокупность модулей, возникших из одной зиготы. Она может быть представлена одной или многими модульными особями (Jakson, Coates, 1986). Все модули генеты генетически идентичны друг другу. Генетическое разнообразие в популяциях размножающихся бесполо модульных видов поэтому мало. При отсутствии в популяции полового размножения, а у некоторых популяций это встречается (Иванова-Казас, 1977). Популяция может состоять даже из одной генеты. Возможности естественного отбора (и скорость эволюции) тем выше, чем больше генетическое разнообразие в популяции.

Передифференциация клеток необходима не только для омоложения особи, но и для ее бесполого размножения. Естественный отбор, направленный на усложнение особи, привел к утрате у клеток способности передифференцироваться, а у особи – к утрате способности к бесполому размножению. Унитарные виды стали использовать более эффективную, чем их модульные предки, стратегию приспособления к среде. Из-за утраты способности к бесполому размножению, то есть к копированию генотипов, возможности выбора и отсева генотипов увеличились. А это ускорило эволюцию и повысило, следовательно, приспособляемость популяции. Ее приспособляемость повысило и то, что из-за потери у особей способности предотвращать старческие изменения ускорила в популяциях смена генотипов. Цена возросшей приспособляемости популяции – утрата у особей потенциального бессмертия. Но для

поддержания надежности существования вида способность популяции генетически в ответ на изменение среды с помощью естественного отбора перестраиваться полезнее, чем потенциальное бессмертие особей.

Ускорение эволюции, произошедшее в связи с утратой способности к бесполому размножению, ускорило и адаптивную радиацию видов. Одной из причин вспышки видообразия, произошедшей незадолго до кембрия, могла быть потеря в то время у Metazoa способности к бесполому размножению. Многие Metazoa, вставшие на путь отказа от повышения дифференцированности клеток, не вымерли, а сохранились и эволюционируют. Но они стоят на обочине магистрального пути развития жизни на Земле. Большинство видов Мирового океана, пресных вод и суши – унитарные. Резкое преобладание числа унитарных видов над модульными свидетельствует, что возникновение унитарности – ароморфоз, прогрессивное эволюционное изменение строения, приводящее к общему повышению уровня организации организма и роста его энерговооруженности. Возникновение унитарности у Metazoa – это переломный этап в эволюции. Унитарность обеспечила эволюционное преимущество в борьбе за существование в любых условиях среды, так как она повысила приспособляемость популяций. Свойством стареть обладают и свободно подвижная модульная особь. Но после ее смерти остаются генетически идентичные ей потомки, образовавшиеся путем бесполого размножения. Смерть свободно подвижной модульной особи от старости не ускоряет замену одних генотипов другими, не облегчает генетическую перестройку популяции к изменившейся среде и не ускоряет эволюцию.

Жизненная стратегия растений схожа с жизненной стратегией сидячих модульных беспозвоночных (Нотов, 1999, Прос., 1986). Побег растений – это их модули. У растений, как и у сидячих модульных беспозвоночных для переживания неблагоприятного для жизни периода служат соматические покоящиеся зародыши – покоящиеся почки. Они у деревьев и кустарников образуются на ветвях, у травянистых растений – на корневищах, корнеплодах, клубнях. Луковица – покоящаяся почка. Покоящиеся почки растений и диапаузирующие соматические зародыши сидячих модульных беспозвоночных – аналогичные образования. Формирование покоящихся почек у растений – это возвращение организма на пройденный этап развития, его омоложение.

Образовывать покоящиеся почки растения могут благодаря высокой способности клеток к передифференциации, а этой способностью их клетки обладают потому, что они у них мало дифференцированы. Благодаря способности клеток к

передиференцировке растения обладают и способностью к бесполому размножению. До обсуждаемого в статье переломного этапа растения в ходе своей эволюции не дошли.

### **Список литературы**

- Жерихин В.В.* 2003. Основные закономерности филоценогенетических процессов (на примере некоторых сообществ мезозоя и кайнозоя) // Избранные труды по палеоэкологии и филоценогенетике. М.: Тов-во науч. изд. КМК. С. 405-440.
- Зотин А.И.* 1984. Биоэнергетическая направленность эволюционного процесса организмов // Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука. 1984. С. 269-274.
- Зотин А.И., Зотин А.А.* 1995. Прогрессивная эволюция: термодинамическая основа // Известия РАН. Серия биологическая. № 4. С. 396-398.
- Зотин А.А., Лампрехт И., Зотин А.И.* 1998. Тепловые барьеры в процессе прогрессивной эволюции животных и человека // Известия РАН. Серия биологическая. №3. С. 309-315.
- Иванов А.В.* 1968. Происхождение многоклеточных животных. Филогенетические очерки. Л.: Наука. 1968. 287 с.
- Иванова-Казас О.М.* 1977. Бесполое размножение животных. Л.: Изд. ЛГУ. 239 с.
- Исаева В.В.* 2005. Синергетика для биологов. М.: Наука. 158 с.
- Марфенин Н.Н.* 1999. Концепция модульной организации // Журн. общей биологии. Т. 60. № 1. С. 6-17.
- Нотов А.А.* 1999. О специфике функциональной организации и индивидуального развития модульных объектов // Журн. общей биологии. Т. 60. № 1. С. 60-79.
- Одум Г., Одум Э.* 1978. Энергетический базис человека и природы. М. Прогресс. 378 с.
- Скулачев В.П.* 1999. Феноптоз – запрограммированная смерть организма // Биохимия. 1999. Т. 64. № 12. С. 1679-1688.
- Скулачев В.П.* 2012. Что такое «феноптоз» и как с ним бороться // Биохимия. Т. 77. № 7. С. 827-846.
- Фокс Р.* 1992. Энергия и эволюция жизни на Земле. М.: Мир. 216 с.
- Gardner S.N., Mangel M.* 1997. When can clonal organism escape senescence? // Amer. Nat. 1997. V. 150. №4. P. 462-490.
- Harper J.L., Rosen J. White J.* 1986. Preface // Phil. Trans. Roy. Soc. London. B. V. 313. № 1159. P.3-5.
- Jackson D.C., Coates A.C.* 1986. Life cycle and evolution of clonal (modular) organisms // Phil. Trans. Roy. Soc. London. B. V. 313. № 1159. P. 7-22.
- Jagersten G.* 1972. Evolution of the metazoan life cycle. A comprehensive theory. L.: N.Y.: Acad. Press. 282 p.
- Larsson Sv.G.* 1963. Reflection in the system of Deuterostomia // Scrift. Univ. Zool. Mus. Kobenhaven. V. 20. P. 5-128.

*Orive M.E.* 1995. Senescence in organisms with clonal reproduction and complex life histories // *Amr. Naturalist*. V. 145. № 1. P. 90-108.  
*Proc. Royal Soc.* 1986. London. V. 313. № 1159. 258 p.

## **A CRITICAL STAGE, WHICH ACCELERATED THE EVOLUTION OF METAZOA**

**A.V. Makrushin<sup>1</sup>, N.V. Aladin<sup>2</sup>, A.S. Vasiliev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Papanin Institute of Biology of Inland Waters RAS, Borok (Yaroslavskaaya oblast)

<sup>2</sup>Zoological Institute RAS, Saint-Petersburg

In evolution, an increase in the integration of individual and differentiation of its cells occurred. It reduced the ability of cells to redifferentiate. At a certain stage of this decline, the individual lost the ancestral ability to rejuvenate and multiply. This loss is a turning point in evolution. It increased the speed of evolution and the adaptability of Metazoa to environmental changes.

**Keywords:** *modular animals, aging, asexual reproduction, adaptability.*

### *Об авторах:*

МАКРУШИН Андрей Валентинович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., пос. Борок Некоузского района; e-mail: makru@ibiw.ru.

АЛАДИН Николай Васильевич – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН Зоологический институт РАН, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 1; e-mail: Nikolai.aladin@zin.ru.

ВАСИЛЬЕВ Алексей Станиславович – доктор биологических наук, ведущий инженер, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., пос. Борок Некоузского района; e-mail: vasiliev@ibiw.ru.

Макрушин А.В. Переломный этап в эволюции Metazoa, ускоривший ее / А.В. Макрушин, Н.В. Аладин, А.С. Васильев // *Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология*. 2020. № 4(60). С. 35-42.