



## ДРЕВНЕЙШИЕ МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ И СОВРЕМЕННЫЕ АНАЭРОБНЫЕ ЖИВОТНЫЕ: НЕОБХОДИМОСТЬ НОВЫХ КОНЦЕПЦИЙ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Рецензия на статьи: 1. Danovaro R., Dell'Anno A., Pusceddu A. et al. **The first metazoan living in permanent anoxic conditions** // BMC Biology. – 2010. – 8, №30; doi: 10.1186/1741-7007-8-30;  
2. El Albani A., Bengtson S., Canfield D.E. et al. **Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago** // Nature. – 2010. – 466. – P.100 – 104.

Не так часто в науке биологии делаются открытия, которые вынуждают кардинально пересматривать устоявшиеся взгляды. В 2010 г. опубликованы две статьи, представленные в которых открытия толкают к переоценке многих устоявшихся воззрений.

Давно устоялись представление, что минимальная концентрация кислорода, необходимая для активного существования большинства одноклеточных эукариот, составляет порядка 5 % от САР (современного атмосферного уровня), минимальная же потребная концентрация кислорода для существования животных – около 50 % САР [2, 7, 9, 10]. Только небольшое количество протистов, благодаря симбиотным бактериям или археям, могут существовать в аноксических условиях [4, 11, 12], а считанные виды животных могут временно, хотя иногда и достаточно долго, переносить аноксические условия [11, 12]. Поэтому открытие группой итальянских и датских учёных во главе с Р. Дановаро (Danovaro) облигатно анаэробных животных [4] нельзя не назвать сенсационным. В глубоководной гиперсоленой аноксической впадине l'Atalante (Средиземное море) в донных осадках найдены три вида типа Loricifera (*Spinoloricus* nov. sp., *Rugiloricus* nov. sp., *Pliciloricus* nov. sp.). Показано, что эти животные не могли быть занесены из прилегающих к впадине областей, содержащих кислород. Вместе с этими видами в пробах во множестве были представлены гарпактициды и нематоды, которые, однако, были все мёртвыми или умирающими. В экспериментах в среде без присутствия кислорода, используя большой комплекс современных методов, авторы показали, что эти виды лорицифер нормально обеспечивали себя энергией и развивались из яиц до взрослых стадий. Оказалось при этом, что животные имеют не митохондрии, а гидрогеносомы, названные так потому, что в них образуется водород.

По современным представлениям, гидрогеносома – органелла некоторых одноклеточных анаэробных организмов, таких как инфузории, трихомонады и грибы, – является аналогом митохондрий более совершенных эукариот и выполняет многие аналогичные метаболические функции. Подобно митохондриям, гидрогеносома имеет 0.5-1.0 мкм в диаметре, окружена двойной мембраной. Гидрогеносомы являются местом ферментативного окисления пирувата и образуют АТФ при фосфорилировании субстрата с образованием водорода, разлагая, таким образом, половину углеводов клетки, имея ферменты ферродоксин и амилазы, ранее обнаруженные в бактериях и эукариотах. У гидрогеносом отсутствуют кристы и цитохромы, которые обычно находят в митохондриях [3, 5, 8]. Есть основания допускать, что митохондрии и гидрогеносомы имеют общего предшественника, являясь аэробным и анаэробным гомологами одной и той же органеллы, сформировавшейся из эндосимбионта – анаэробной бактерии или археи [3, 5]. Биохимические процессы в гидрогеносоме, обеспечивающие получение энергии, можно представить следующей схемой (рис. 1) [13]. В клетках лорицифер, примыкая к гидрогеносомам, присутствуют палочковидные структуры, похожие на прокариотные клетки. Это позволяет предположить внутриклеточный симбиоз с метаногенными археями. Подобные ассоциации известны для анаэробных протистов, обитающих в аноксической среде [4, 12].

Данное открытие заставляет по-новому взглянуть на такие важные вопросы, как происхождение многоклеточных животных, роль кислородного дыхания в переходе к многоклеточности, однозначность связи оксигенизации гидросферы Земли и происхождения животных, возможность существования сообществ многоклеточных организмов в аноксической среде, возможные пути изменений

биоты морей при их деоксигенизации, наблюдаемой сегодня [14], и т.д. Конечно, такое сенсационное открытие не могло пройти вне внимания научного сообщества. Научное сообщество восприняло его с восторгом и начало активно обсуждать [11, 12]. Однако сейчас ещё невозможно даже представить, какие кардинальные изменения оно внесёт в наше понимание эволюции водных экосистем и их функционирования в аноксийных и гипоксийных условиях. Встают интригующие вопросы, на которые сейчас нет ответов: могут ли существовать животные-гидробионты, в клетках которых были бы и обычные митохондрии, и гидрогеносомы? Можно ли искусственно создавать таких химер для биотехнологических и экологических целей? Существуют ли эти или подобные им виды лорицифер в аноксийной зоне Черного моря? Л. Леви, считает, что это вполне возможно [11].

Не менее сенсационна и вторая рецензируемая статья большого коллектива авторов, обнаруживших разнообразие многоклеточных форм организмов в отложениях возрастом 2.1 млрд. лет [6]! Это на 200 – 600 млн. лет удлинит историю многоклеточных организмов на нашей планете [2, 6, 7]. Открытие сделано группой французских учёных под руководством А. El Albani: в формации Франсевиль (Franceville) в Габоне (Африка) обнаружено более 250 хорошо сохранившихся окаменелостей довольно сложно организованных животных размером от 1 до 12 см. В исследовании остатков приняло участие 20 учёных из 16 разных институтов, все они соавторы данной статьи. Вывод учёных: остатки однозначно принадлежат многоклеточным животным, слишком крупны и сложно организованы окаменелости, чтобы принадлежать одноклеточным. Изотопными методами (соотношение разных изотопов

серы) подтверждено органическое происхождение структур. Органическое вещество этих организмов со временем трансформировалось в пирит. Использование микротомографических методов позволило четко реконструировать внутреннюю структуру животных.

Считается, что оксигенизация океана и атмосферы нашей планеты за счёт кислородного фотосинтеза началась примерно 2.45 – 2.32 млрд. лет назад и 2 млрд. лет назад концентрация кислорода была около 0.1% САР [1]. По современным представлениям, это слишком низкая концентрация кислорода, чтобы аэробный обмен мог поддерживать многоклеточную организацию животных. Следует заметить, что эти древние формы жили, по мнению авторов статьи, на глубинах до 20 – 30 м в довольно плотных колониях – до 80 особей на квадратный метр дна. Это значит, что если они были аэробами, то должны были бы потреблять довольно много кислорода, которого не было. Следовательно, логично сделать вывод, что их существование поддерживалось анаэробным обменом. Если так, то получается, что первые многоклеточные животные на Земле были анаэробами. Открытие анаэробных лорицифер подтверждает такую возможность. Но столь же возможно, что в те времена в мелководных морях было больше кислорода, чем допускается учёными сейчас.

Оба эти сенсационных открытия, как бы дополняя друг друга, заставляют задуматься: насколько верны наши устоявшиеся представления о биоэнергетическом базисе биосферы, происхождении многоклеточности, первых миллиардах лет эволюции нашей биосферы, возможных сценариях изменений водных экосистем в условиях глобальных изменений климатической системы Земли.

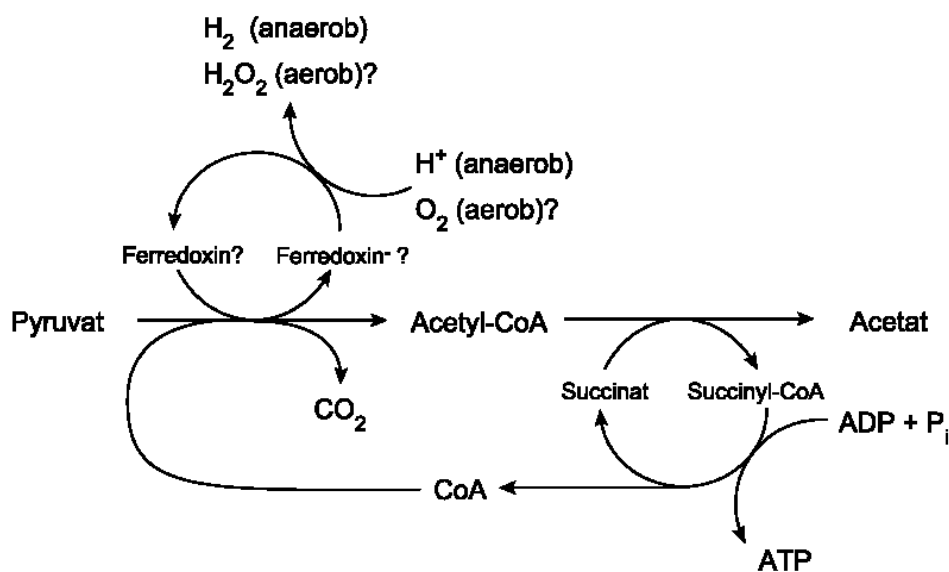


Рис. 1 Схема синтеза АТФ в гидрогеносомах (по [13]). CoA = коэнзим А  
Fig. 1 Model of ATP-synthesis in hydrogenosomes [13]. CoA = Coenzyme A

1. *Сорохтин О. Г.* Жизнь Земли. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. - 2007. - 450 с.
2. *Федонкин М. А.* Две летописи жизни: опыт сопоставления (палеобиология и геномика о ранних этапах эволюции биосферы) // Проблемы геологии и минералогии. - Под ред. А.М.Пыстина. - Сыктывкар: Геопринт. - 2006. - С. 331 - 350.
3. *Akhmanova A., Voncken F., van Alen T.* A hydrogenosome with a genome // *Nature*. - 1998. - **396**. - P. 527 - 528.
4. *Danovaro R., Dell'Anno A., Pusceddu A.* The first metazoan living in permanently anoxic conditions // *BMC Biology*. - 2010. - **8**, №30 doi: 10.1186/1741-7007-8-30.
5. *Dyall S. D., Johnson P. J.* Origins of hydrogenosomes and mitochondria: evolution and organelle biogenesis // *Current Opinion in Microbiology*. - 2000. - **3**, № 4. - P. 404 - 411.
6. *El Albani A., Bengston S., Canfield D. E.* Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1Gyr ago // *Nature*. - 2010. - **466**. - P.100 - 104.
7. *Fedonkin M. A.* The origin of the Metazoa in the light of the Proterozoic fossil record // *Paleontological Research*. - 2003. - **7**, №1. - P. 9 - 41.
8. *Hrdy I., Hirt R. P., Dolezal P.* Trichomonas hydrogenosomes contain the NADH dehydrogenase module of mitochondrial complex I // *Nature*. - 2004. - **432**. - P. 618 - 622.
9. *Knoll A. H.* The Early evolution of eukaryotes: a geological prospective // *Science*. - 1992. - **256**. - P. 622 - 627.
10. *Knoll A. H.* Breathing room for early animals // *Nature*. - 1996. - **382**. - P. 111 - 112.
11. *Levin L. A.* Anaerobic Metazoans: No longer an oxymoron // *BMC Biology*. - 2010. - **8**, №31. - doi: 10.1186/1741-7007-8-31.
12. *Mentel M., Martin W.* Anaerobic animals from an ancient, anoxic ecological niche // *BMC Biology*. - 2010. - **8**, №32. - doi:10.1186/1741-7007-8-32.
13. *Müller M., Lindmark D.G.* Respiration of hydrogenosomes of *Tritrichomonas foetus*. II. Effect of CoA on pyruvate oxidation" // *J. Biol. Chem.* - 1978. - **253**, №4. - P.1215 - 1218.
14. *Stramma L., Schmidtko S., Levin L. A.* Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts // *Deep-Sea Research 1*. - 2010(in press) / - doi: 10.1016/j.dsr.2010.01.005.

**Н. В. Шадрин**, канд. биол. наук, с. н. с.

(Институт биологии южных морей  
им. А. О. Ковалевского

Национальной академии наук Украины, Севастополь,  
Украина)

## **ВЫШЛА В СВЕТ МОНОГРАФИЯ:**

**Гаевская А. В., Лебедовская М. В. Паразиты и болезни гигантской устрицы (*Crassostrea gigas*) в условиях культивирования.** - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. - 218 с.

В монографии приведены сведения об истории расселения гигантской устрицы, паразитах и болезнях, встречающихся у этого моллюска в новых для него регионах, в том числе в Чёрном море. Особое внимание уделено видам, патогенным для человека, а также домашних и полезных диких животных, значению отдельных организмов в марикультуре этих моллюсков.

Для малакологов, паразитологов, биологов, экологов, работников санитарно-ветеринарных служб, специалистов в области культивирования моллюсков, а также студентов биологических факультетов.