

# ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭВОЛЮЦИИ И ФОССИЛИЗАЦИИ ПЛАНКТОННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЕ

*Беляев А.М. (СПбГУ, Санкт-Петербург)*

## ENVIRONMENTAL-GEOLOGICAL CONDITIONS OF EVOLUTION AND FOSSILIZATION OF THE PLANKTON MICRO-ORGANISMS IN THE 1640 MA TIME AGO

*Belyaev A.M. (SPSU, Saint-Petersburg)*

Geological surveys showed that in time of the rapakivi granites of the Wiborg massif forming (1640 Ma time ago) take place underwater volcanism and rhyolite and basalt lavas were effusion. They have abnormally high content of  $K_2O$  and relatively low content of  $Na_2O$  in rhyolites and basalts in the result of hydrothermal interaction of eruptive magmas with K-enriched hot seawater.

Within basaltic and rhyolitic lavas there are strata of metasedimentary rocks (microquartzites). They Microquartzites showed carbon vastly depleted of heavy isotope  $^{13}C$  is typical for rocks formed with participation of living substance.

In the microquartzites among basalts and rhyolites were found a community of fossilized marine plankton micro-organisms: spiral and coccoid cyanobacterias, amoebas, diatoms, foraminifers, flagellates, multicellular organisms and virus capsids too. These microorganisms were fossilized (silicified and ferruginized) by the silica-enriched hot seawater in the underwater volcanism processes.

High concentrations in the sea waters of biologically scarce elements – potassium and phosphorus, and high radioactivity of the environment were favourable for evolutionary development of the plankton micro-organisms.

Одной из задач экологической геологии является изучение роли литосферы в жизнеобеспечении и эволюции биоты. Геологические процессы напрямую определяют условия обитания и эволюционного развития живого вещества. В древние геологические периоды развитие жизни происходило в водной среде. Наибольшее влияние на состояние водных экосистем оказывали магматические расплавы при подводных извержениях. Динамические процессы приводили к интенсивному движению косного вещества и циркуляции нагретых вод, а также к изменению ресурса биофильных элементов природного и биогенного происхождения. Для жизнедеятельности морских планктонных микроорганизмов совершенно необходимы такие биофильные элементы как калий и фосфор, которые способны благоприятно влиять на индивидуальный рост (онтогенез) организмов, и на скорость их эволюционного развития в филогенезе. Кроме того, ионизирующее излучение, вызванное радиоактивным изотопом  $^{40}K$  внутри клеток микроорганизмов, способствовало спонтанному мутагенезу, необходимому для эволюционного развития, отбора и нового видообразования.

Наиболее ярко изменение условий существования и эволюции морских планктонных микроорганизмов проявилось в процессах подводного вулканизма в континентальных морях Палеопротерозоя. В конце этого периода в южной части Балтийского щита на земной поверхности обнажались горные породы кристаллического фундамента Свекофеннской складчатой области. В это время в земной коре сформировалась вулканоплутоническая формация рапакиви представленная Выборгским массивом гранитов рапакиви. Интрузивные породы массива представлены габбро-анортозитами и разнообразными по времени внедрения, минеральному составу и структуре гранитами. Радиологический возраст цирконов из гранитов массива, определенный различными методами, дает интервал 1620—1650 млн. лет (Беляев, 2013).

К вулканической фации Выборгского массива относятся базальты, трахибазальты, риолиты и дациты с возрастом  $1640 \pm 11$  млн лет, обнажающиеся на острове Гогланд в Финском заливе (Беляев, 2013). Они субгоризонтально залегают на породах фундамента. Подушечные лавы, найденные среди базальтов и риолитов, указывают на подводный характер извержений. Однако риолиты и базальты имеют уникальные аномальные соотношения щелочей – повышенные содержания  $K_2O$  и низкие  $Na_2O$  связанные с серицитизацией девитрифицированной основной массы и лейст плагиоклаза. Как было установлено ранее, эти процессы определялись взаимодействием вулканитов с морской водой, обогащенной калием, во время подводного излияния. Источником, обогатившим морскую воду калием непосредственно перед извержением, могли быть передовые гидротермальные флюиды, отщепленные от базальтовой и рапакивигранитной магм (Беляев, 2013).

Среди базальтов и риолитов присутствуют хемогенно-осадочные кремнистые породы, представленные микрокварцитами. В базальтах они слагают линзовидные прослои и образуют каемки вокруг «подушек» в шаровых лавах. В риолитах кремнистые породы также встречаются в виде линзовидных прослоев и слагают цемент в эруптивных брекчиях. Хемогенно-осадочные кремнистые породы были сформированы в процессах подводного вулканизма при растворении в морской воде оксидов кремния с поверхности горячих лавовых потоков и последующего выпадения кремнистых осадков. Под воздействием вышележащих лавовых толщ кремнистые осадки претерпели контактовый метаморфизм, и превратились в микрокварциты (Беляев, 2013).

С целью обнаружения признаков древней жизни были проведены изотопные массспектрометрические исследования углеродсодержащего вещества (графита), химически извлеченного из микрокварцитов. Они показали, что углерод сильно деплетирован в отношении тяжелого изотопа  $^{13}C$  ( $\delta^{13}C = -27.2 - 29.5\%$ ). Это характерно для горных пород, сформировавшихся с участием живого вещества.

В микрокварцитах среди базальтовых и риолитовых лав найдены ассамблеи структур по внешней и внутренней морфологии подобные современным или ископаемым водным микроорганизмам. Окремненные и ожелезненные структуры, имеющие сходство со спиральными и коккоидными

цианобактериями, а также эукариотами – амебами, диатомея ми, фораминиферами, флагеллатами, многоклеточными микроорганизмами и капсидами вирусов представляют собой останки древних микрофоссилий морских палеопротерозойских микроорганизмов.

С эрой Палеопротерозоя связан важнейший этап в эволюции биосферы – появление и развитие эукариотных микроорганизмов. Однако точная идентификация микрофоссилий эукариотов затруднена из-за того, что их ядра, митохондрии, хлоропласты, жгутики и др. органеллы плохо сохраняются в ископаемом состоянии. Сохранность микрофоссилий бактерий и особенно эукариот в первую очередь зависит от условий захоронения микроорганизмов. Наиболее благоприятна быстрая минерализация, которая происходила еще до начала постмортальных преобразований и деградации тел микроорганизмов. Лучше и быстрее всего микроорганизмы без минерального скелета консервируются в хемогенно-осадочных кремнистых породах, образовавшихся в результате осаждения оксида кремния из горячих вод. Процессы окремнения термофильных цианобактерий хорошо изучены в современных термальных источниках. Экспериментальные исследования подтвердили, что эти процессы происходили в интервале нескольких часов, практически при жизни микроорганизмов (Ископаемые бактерии..., ред. Розанов, 2011). Во время образования кремнистых пород Хогландской свиты также существовали благоприятные условия для быстрого окремнения и ожелезнения морских планктонных микроорганизмов.

Структуры микрофоссилий подобных амебам, диатомовым водорослям, фораминиферам, флагеллатам и многоклеточным организмам, ранее находили лишь в породах Палеозоя или Неопротерозоя. Так, например, наиболее древние микрофоссилии диатомей известны в раннемеловых отложениях с возрастом около 140 млн. лет тому назад. Достаточно сложная структура панцирей диатомей позволяют предположить, что к тому времени эта группа водорослей уже прошла длительный эволюционный путь развития и возникла в более раннюю геологическую эпоху. Но достоверных свидетельств присутствия микрофоссилий диатомей в докембрийских отложениях пока нет.

Самые ранние находки микрофоссилий фораминифер известны в породах Неопротерозоя и Кембрия (Pawlowski et al. 2003). Естественно предположить, что такие сложные по морфологии структуры эукариот могли существовать уже в Палеопротерозое.

Наиболее достоверно определенные микрофоссилии агглютинированных панцирей амев, обитавших 710 – 635 миллионов лет назад, были обнаружены в осадочных породах из Намибии (Bosak et. al., 2011). Вещество их раковин представлено мозаикой из различных глинистых минералов, а также кварца и микроклина. Возможно, что панцирные и безоболочечные амевы обитали уже в Палеопротерозое, но достоверных данных об их существовании в современной литературе нет.

Впервые найденные в микрокварцитах среди базальтов и риолитов Хогландской свиты структуры по внешней и внутренней морфологии похожи на современные или окаменевшие морские микроорганизмы: спиральные и

коккоидные цианобактерии, а также эукариоты: амёбы, диатомовые водоросли, фораминиферы, флагеллаты и многоклеточные структуры. По размерам они более чем в десять раз больше современных и ископаемых палеозойских микроорганизмов.

В микрокварцитах среди базальтов и риолитов Хогландской свиты впервые найдены зональные шестиугольные образования по внешней и внутренней морфологии похожие на структуры нуклеокапсидов современных гигантских вирусов. При этом вирусоподобные структуры находятся в тесной ассоциации с амёбообразными структурами. Однако микрофоссилии вирусов не обнаружены даже в современных отложениях, поэтому изучение найденных вирусоподобных структур представляется весьма актуальным.

В современных экосистемах – вирусы самая многочисленная биологическая форма. Они являются важной составной частью регуляции водных экосистем, каждый день, убивая в океане около 20 % биомассы, 90 % которой составляют микроорганизмы (Mahy & Van Regenmortel, 2009). Многие специалисты считают вирусы древнейшими организмами. Но, современные вирусы такие мелкие, что не видны в световой микроскоп, и их стали изучать только с появлением электронных микроскопов.

В последние десятилетия, в мировой литературе появились многочисленные публикации о находках сразу нескольких видов гигантских вирусных структур – паразитов амёб, представителей семейства *Mimiviridae* (Львов, и др. 2018). По размерам они в тысячу раз и более превосходят традиционные вирусы и сопоставимы с клетками некоторых эукариот. Нуклеокапсиды гигантских вирусов (внешняя оболочка и внутренние мембраны) в сечениях имеют вид зональных шестигранников или пятигранников.

Большинство вирусов содержат либо молекулы ДНК, либо РНК, и от трёх до ста генов, тогда как геномы гигантских вирусов включают как ДНК так и РНК и от одного до полутора миллионов пар оснований. Считается, что общий предок этих вирусов произошел от клеточного организма, а сами они эволюционировали посредством постепенной дегенерации генома (Arslan, et al., 2011). Огромный геном гигантских вирусов может указывать на их древнее происхождение, однако сведения о находках микрофоссилий вирусов даже в четвертичных породах в литературе отсутствуют. Вместе с тем имеются данные об экспериментальной фоссилизации вирусов кремнеземом, проникающим в различные вирусные структуры – белки и оболочки (Orange, et al. 2011). Эти исследования предполагают, что вирусные структуры могут сохраняться в горных породах.

В микрокварцитах из базальтов и в цементе брекчий в риолитах найдены несколько разновидностей шестигранных или пятигранных вирусоподобных структур, различающихся размерами, морфологией, внутренней структурой и минеральным составом псевдоморфоз. По внешней морфологии они подобны икосаэдрическим капсидам и «хвостам» (tail) современных гигантских вирусов, но по размерам превосходят их в тысячу раз.

В целом можно следующим образом реставрировать эколого-геологические условия fossilization древних микроорганизмов в отложениях Палеопротерозоя: во время подводного вулканизма горячие морские воды, насыщенные оксидом кремния и железа, приводили к быстрому окремнению и ожелезнению планктонных микроорганизмов. У еще живых клеток внутриклеточная цитоплазма замещалась кремнистым гелем. При этом оксиды железа осаждались на поверхности мембран, клеточных перегородок и органелл. Слизистое вещество, окружавшее микроорганизмы, также замещалась кремнистым гелем. Окременненные микрофоссилии захоранивались в хемогенных кремнистых осадках, отлагавшихся на поверхности лавовых потоков. Процессы контактового метаморфизма привели к преобразованию кремнистых осадков в микрокварциты, а пелитовых осадков в серицитовый агрегат. При этом сохранялись размеры и объемы fossilized микроорганизмов.

Низкие концентрации в обычной морской воде биологически дефицитных элементов калия и фосфора ограничивают количественное и качественное развитие жизни. Поэтому значительно повышенные концентрации калия (в пять и более раз) в морской воде континентального моря способствовало эволюционному развитию микроорганизмов. Кроме того, радиоактивность морских вод на 90-98% вызвана радиоактивным изотопом  $^{40}\text{K}$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$  лет. Следовательно, 1.64 млрд лет тому назад содержание  $^{40}\text{K}$  в природной смеси изотопов было приблизительно в 2.3 раза больше, чем в настоящее время. Поэтому, с учетом общего повышенной концентрации калия в морской воде, радиационный фон в то время превышал современный более чем в 10 раз. При этом,  $^{40}\text{K}$  также концентрируется внутри клеток в непосредственной близости от ДНК и, его радиоактивность вызывает спонтанный мутагенез, необходимый для эволюционного развития, отбора и нового видообразования.

Фосфор также важный биофильный элемент, без которого невозможен синтез белков. Низкие концентрации фосфора в морской воде лимитируют рост микроорганизмов. Горная порода, из которой в морскую воду поступает больше всего фосфора – базальт (кларк P – 0,14%). Содержания фосфора в базальтах Гогланда выше в три и более раза.

Таким образом, высокие концентрации биологически дефицитных элементов калия и фосфора в морской воде во время подводных извержений, и высокая радиоактивность окружающей среды и внутри микроорганизмов были благоприятны для их эволюционного развития.

1. Беляев А. М. Петрология вулканитов формации рапакиви (о. Гогланд), //Региональная геология и металлогения, №55, 2013, с. 28-36.
2. Беляев А.М. Роль вирусов в эволюции ранней биосферы Земли //Труды международного семинара «Геология, геоэкология, эволюционная география», СПб.: 2017, Изд-во РГП Том XVI с. 25-28.

3. Беляев А.М. Перспективы микропалеонтологического изучения вулканогенно-осадочных кремнистых пород Палеопротерозоя. //Материалы LXIV сессии Палеонтологического общества, 2018, т.1. с. 26-28.
4. Беляев А.М. Перспективы изучения микрофоссилий в вулканогенно-осадочных кремнистых породах Палеопротерозоя //Материалы LXIV сессии Палеонтологического общества, 2018, т.2. в печати.
5. Belyaev A. M. Paleoproterozoic UMicrofossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks (Hogland Island, Russia) //Journal of Earth Science, China, 2018., в печати.