Беляев А.М., Юхалин П.В.

Уникальные находки древнейших микрофоссилий в кремнистых породах о. Гогланд

У стеллы контр-адмиралу Святову

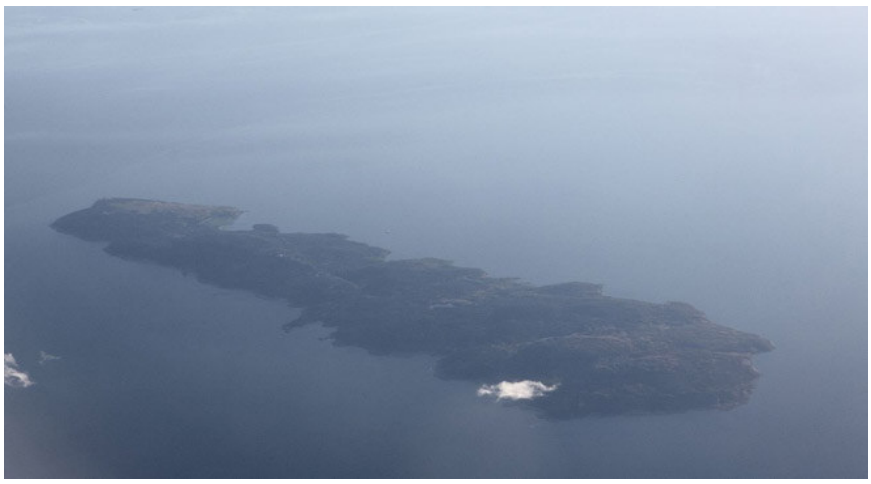
БЕЛЯЕВ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ – кандидат геолого-минералогических наук, доцент Института наук о Земле СПбГУ. Окончил геологический факультет Ленинградского государственного университета в 1970 году по специальности «геолог-съемщик-поисковик». Работал в геологических экспедициях на Памире, Дальнем востоке, Карелии, Кольском полуострове, а также в Китае, США, Финляндии, Бразилии. Область научных интересов – петрология магматических и метаморфических пород, экологическая геология. С 1998 по 2008 год вел в Клубе курсы «Полезные ископаемые с основами экологической геологии» и «Основы исследовательской деятельности». Руководил Питкярантскими (1984, 1997, 1998), Уральской (1999) и Рыбинской (2000) экспедициями Клуба.

ЮХАЛИН ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ - генеральный директор компании «Сидосе». Занимался в Клубе юных геологов с 1979 по1983 год в геологическом, палеонтологическом, кристаллографическом, минералогическом, геохимическом и камнерезном кружках. Участвовал в экспедициях клуба в Карелию, Ковдор, Хибины, на Южный Урал, Терский берег, Северный Кавказ. В 1988 году окончил геологический факультет Ленинградского государственного университета по специальности «геолог-съемщик-поисковик». Работал в Карелии, Казахстане на Кольском полуострове. Область научных интересов – микробиология и эволюция жизни на Земле. Участник четырех экспедиций в Гималаи и Тибет, двух геологических экспедиций на остров Гогланд.

География и история о. Гогланд

В 180 километрах к западу от Санкт-Петербурга почти в центре Финского залива холодные волны Балтики уже более десяти тысяч лет штурмуют скалы острова Гогланд. Это одно из красивейших мест на Земле и самый красивый уголок Ленинградской области.

Остров вытянулся по меридиану на 11 километров, при ширине 1,5-3 километра. Три его вершины вздымаются на высоту более 170 метров над уровнем залива. На западе хребет обрывается крутыми склонами с горизонтальными уступами террас. Древний сосновый и еловый лес покрывает горы и долины. Среди скал зеркалами блестят небольшие горные озера. Суровая и мужественная красота – скалы, ветер, крики чаек, запахи моря и хвои.



Остров Гогланд

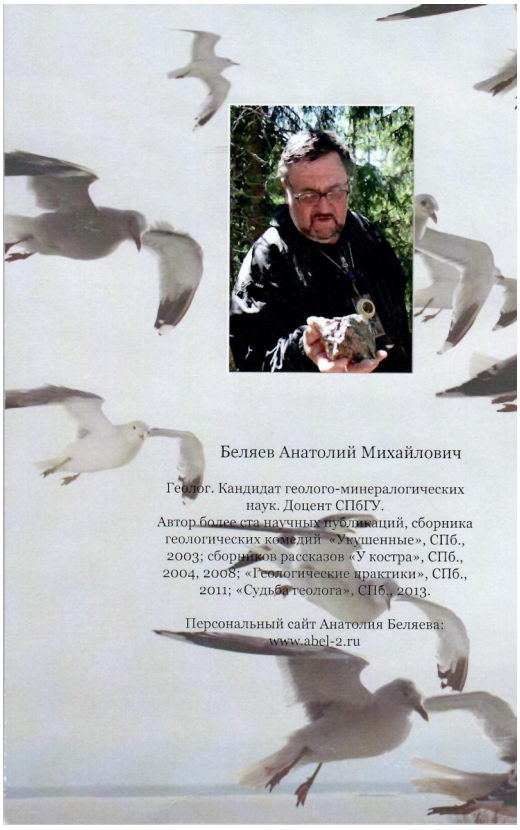
С древнейших времен вокруг острова происходили морские сражения и по количеству судов, потонувших около Гогланда, его можно назвать «островом погибших кораблей».

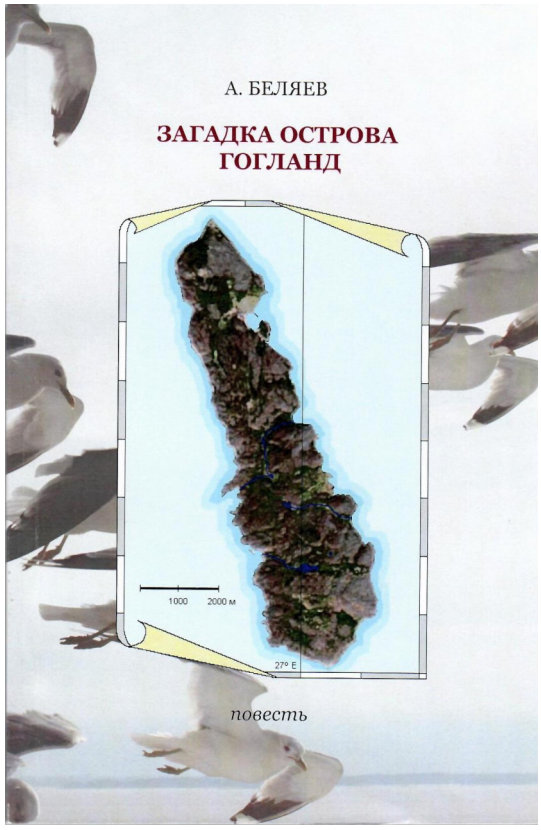
Самые трагические события произошли у Гогланда в августе 1941 г., когда из осажденного фашистами Таллинна в Кронштадт через минные поля, под обстрелом и бомбежками прорывались корабли Балтийского флота, эвакуируя воинов, женщин и детей. Тогда в районе Гогланда погибли более десяти тысяч военных и гражданских людей. Моряки отряда кораблей под командованием контр-адмирала Святова спасли 12 160 человек, попавших в воду с потопленных судов. На северном берегу бухты Сууркюлян-лахти возвышается памятная стела адмиралу и тысячам военных и гражданских людей погибших во время Таллиннского перехода (Беляев, 2008).

Горные породы острова и история их образования

Геология Гогланда интересна тем, что горы острова сложены риолитами – вулканическими горными породами, родственными гранитам рапакиви Выборгского Плутона, который образовался из застывшей гранитной магмы более полутора миллиардов лет тому назад на глубине нескольких километров. В настоящее время в результате длительной эрозии граниты этого массива оказались на поверхности и обнажаются на огромной площади – более двадцати тысяч квадратных километров (Рис. 1А). Самый сложный из вопросов о происхождении гранитов рапакиви – откуда в земной коре появились такие гигантские объемы гранитной магмы, и каков был их первичный состав. Это можно узнать, изучая вулканические аналоги гранитов – риолиты. Но, риолиты, связанные с гранитам рапакиви, чрезвычайно редки в мире, и только на острове Гогланд они слагают толщу мощностью более ста метров (Беляев, 2008).

Изучению риолитов рапакиви в 90-х годах прошлого века, были посвящены три геологические экспедиции на о. Гогланд. О результатах исследований и экспедиционных приключениях можно прочитать в повести Анатолия Беляева "Загадка острова Гогланд" на сайте: http://www.abel-2.ru/art.html.

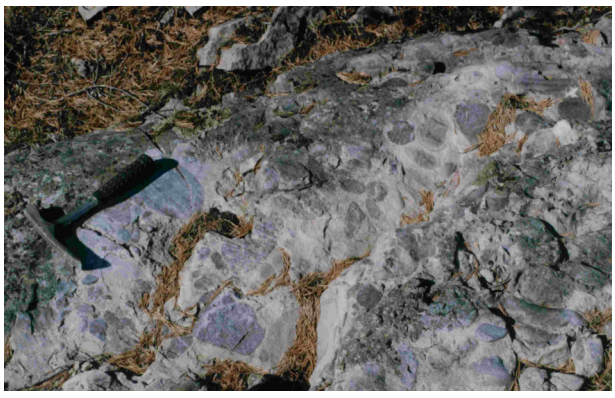




В результате исследований было установлено:

1640 миллионов лет тому назад на месте восточной части современного Финского залива располагалось внутриконтинентальное море, которое А.М. Беляев назвал морем Абеля, а на месте Гогланда был западный берег этого моря. На поверхности Земли обнажались кристаллические породы древнего фундамента. В береговых долинах и понижениях рельефа постепенно накапливались кварцевые пески и гальки кварцитов. В результате последующей трансгрессии – наступления моря эти отложения оказались на дне на значительной глубине.

В это же время произошло растяжение земной коры и по пологим разломам в нее внедрились магматические расплавы комплекса рапакиви Выборгского плутона (Рис. 1. 1.). В районе Гогланда под водой изливались базальтовые и риолитовые лавы. Они отлагались на пропитанные водой песчано-гравийные отложения, которые под воздействием высокой температуры и литостатического давления перекрывающих лав были метаморфизованы, и превратились в кварциты и кварцевые конгломераты (Рис. 1.2.).



Конгломераты

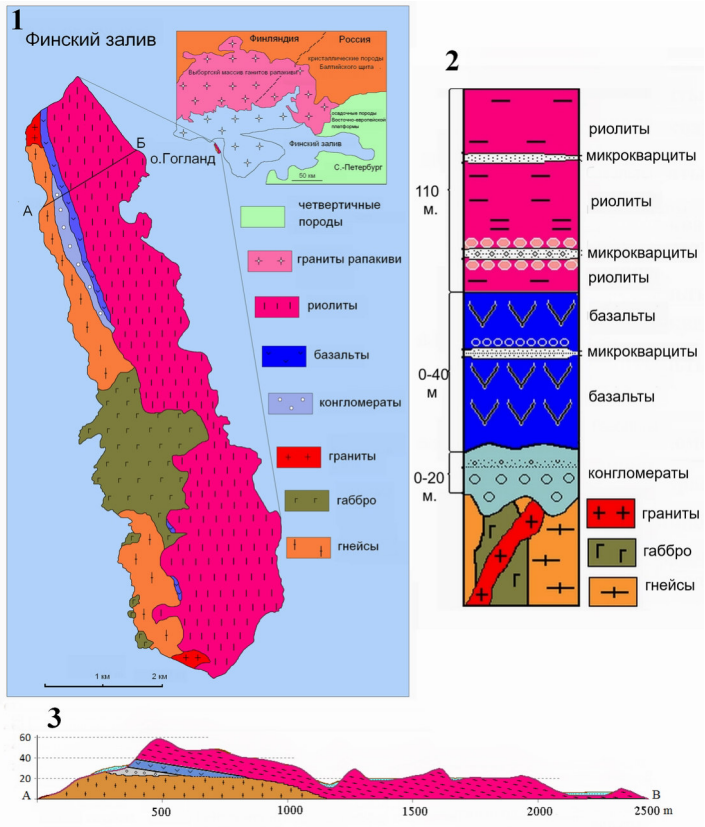


Рисунок 1. Геологическое строение о. Гогланд: 1.1. Схематическая геологическая карта о. Гогланд; 1.2. Стратиграфическая колонка; 1.3. Геологический разрез по линии А-Б.

В толщах базальтовых потоков обнаружены характерные для подводного вулканизма подушечные структуры (пиллоу-лавы) (Рис.2.1.). Они образуются, когда скорость поступления магмы из жерла невелика, и подводный вулкан как бы «плюется» огненными каплями – шарами. Эти раскаленные шары нагревают окружающую воду и, поддерживаемые образующимся снизу водяным паром, некоторое время плывут в толще воды над морским дном. Опускаясь на дно, шары ложатся друг на друга и формируют толщи шаровых (подушечных лав) (Беляев, 2008).

В некоторых местах базальтовые «шары-подушки» залегают на линзовидных прослоях полосчатых кремнистых пород (Рис. 2.1.). Такие породы образовались в процессе растворения в морской воде оксидов кремния при контакте раскаленных лав с морской водой, и осаждения кремнистого геля на поверхность лавовых потоков. Под воздействием вышележащих лавовых толщ, кремнистые осадки претерпели контактовый метаморфизм и превратились в микрокварциты – Mk (Беляев, 2013).

Рис. 2. Микрокварциты в базальтах и риолитах: 2.1. – базальтовый «шар» (вверху) вдавленный в полосчатые кремнистые породы; 2.2. – брекчии риолитов, сцементированные микроварцитом (светлое) (фото П.В. Юхалина); 2.3. – цемент брекчий в риолитах: микрокварциты – Mk (розовое) и серицитовый агрегат – Ser (серое). Полированный образец.

В толщах риолитов – кислых вулканитов, залегающих на базальтах, также найдены кремнистые породы. Они встречаются как в виде линзовидных прослоев, так и в цементе эруптивных брекчий. Хемогенные кремнийсодержащие осадки выпадали на поверхность брекчированных лавовых потоков, заполняя промежутки между обломками риолитов (Рис. 2.2.). Затем, под воздействием тепла и давления вышележащих лавовых толщ, осадки превратились в микрокварциты. Кроме того, в составе цемента брекчий в риолитах, наряду с микрокварцитами присутствуют образования, сложенные мелкозернистым серицитовым агрегатом (Рис. 2.3.). Скорее всего, первоначально, это был глинистый осадок, перекристаллизованный в условиях контактового метаморфизма.

Загадочные структуры в микрокварцитах

При петрографическом изучении в шлифах микрокварцитов из базальтов были обнаружены зональные пяти- и шестиугольные зональные кристаллоподобные структуры. Их четкие контуры трассируются практически непрерывными цепочками зерен гематита, а внутри они сложены микрокварцитом (Рис. 3), (Беляев, 2019).

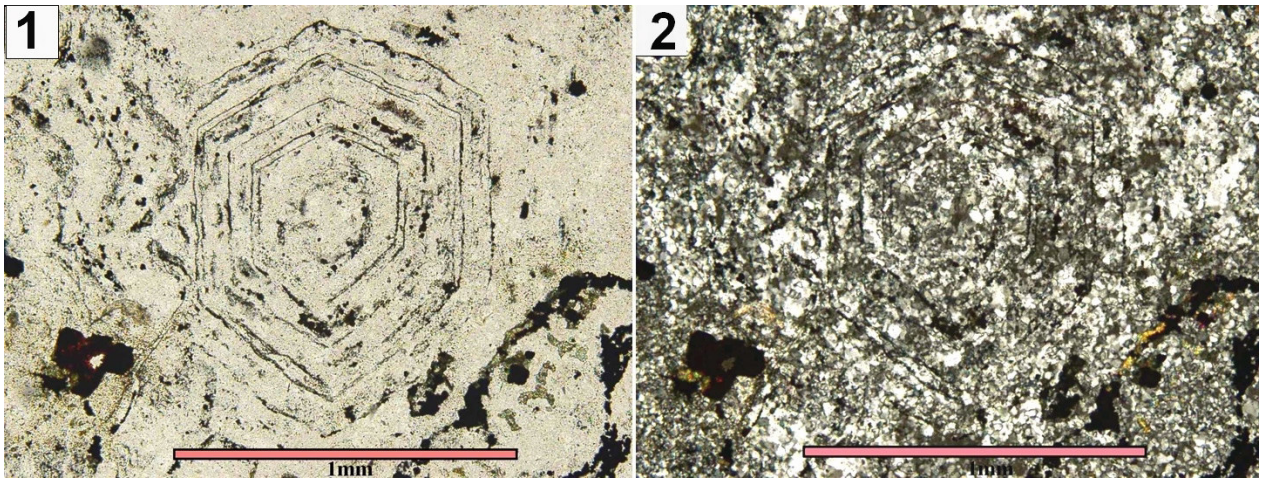


Рис. 3. Шестигранная зональная вирусоподобная структура в микрокварцитах из базальтов. Внешние и внутренние контуры сложены цепочками зерен гематита (Hem), хлорита (Chl) и эпидота (Ep). Внутри и снаружи микрокварцит. Шлиф. 3.1. – без анализатора; 3.2. – то же, с анализатором.

Парадокс в том, что в этих структурах не соблюдается закон постоянства углов, поэтому мы не можем определить их как кристаллы или псевдоморфозы. При скрещенных николях видно, что мозаичная структура микрокварцита одинакова, как внутри контура, так и в основной массе породы (Рис. 3.2.). Это говорит о том, что внутри и снаружи контура зональных структур находилось кремнистое вещество, которое при метаморфизме превратилось в микрокварцит.

Микрофиссилии планктонных микроорганизмов

Вирусоподобные структуры

Изучая литературу, нашли, что эти шестиугольные кристаллоподобные структуры очень похожи на сечения оболочечных вирусов. Но современные вирусы в миллион раз меньше. И тут, в последние десятилетия, в мировой литературе появились многочисленные публикации о находках сразу нескольких видов гигантских вирусных структур – паразитов амеб, представителей семейства *Mimiviridae* (Рис. 5), (Львов, и др. 2018;). По размерам они в тысячу раз и более превосходят традиционные вирусы и сопоставимы с клетками некоторых эукариот. Нуклеакапсиды таких вирусов имеют формы близкие к икосаэдру – правильному выпуклому многограннику, в котором присутствуют шесть вращательных осей симметрии пятого порядка, невозможных в трёхмерной периодической решётке ограненных кристаллов. А в сечениях, нуклеакапсиды гигантских вирусов имеют вид зональных шестигранников или пятигранников (Рис. 4).

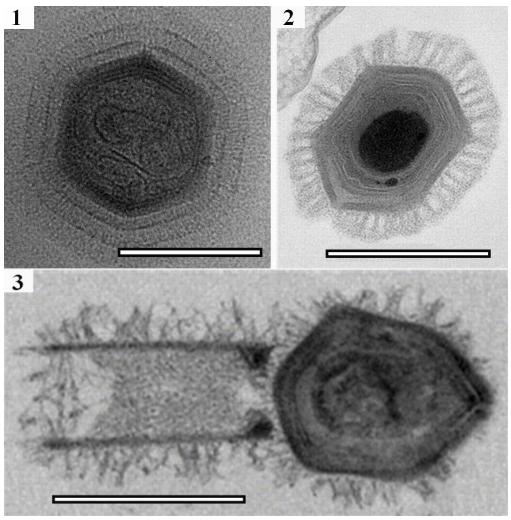


Рис. 4. Гигантские вирусы – паразиты амеб. **4.1.** – шестигранное сечения икосаэдрического нуклеокапсида мимивируса, чёрное деление соответствует 100 нм; **4.2.** – мегавируса; **4.3.** – тупанвируса.

Известно, что в современных экосистемах – вирусы спутники всей клеточной жизни и самая многочисленная биологическая форма. Они превышают число прокариотов на порядок и более. Миллилитр морской воды содержит от 10^5 до 10^8 вирусов. Каждый день вирусы убивают в океане около 20% биомассы, 90% которой составляют микроорганизмы. Считается, что в ранней эволюции биосферы вирусы являлись важным естественным средством переноса генов между различными видами и способствовали их генетическому разнообразию. Филогенетический анализ генома гигантских вирусов (состоящего из молекул ДНК и РНК, и содержащего до полутора миллиона пар оснований) может указывать на их очень древнее происхождение. Считается, что «общий предок» этих вирусов произошел от клеточного организма (Львов, и др. 2018).

Однако сведения о находках микрофоссилий вирусов даже в четвертичных породах в современной мировой литературе отсутствуют. А тут сразу супергигантские окаменевшие вирусы – динозавры в мире микрофоссилий, да еще с возрастом 1640 миллионов лет (Беляев, 2019). При дальнейшем изучении шлифов микрокварцитов были обнаружены не только шестигранные, но и пятигранные зональные образования (Рис. 5.1.), а также «сморщенные» зональные образования (Рис. 5.2.), которые характерны для случаев фоссилизации погибших микроорганизмов, когда их протопласт сжимается (Бактериальная палеонтология, 2002).

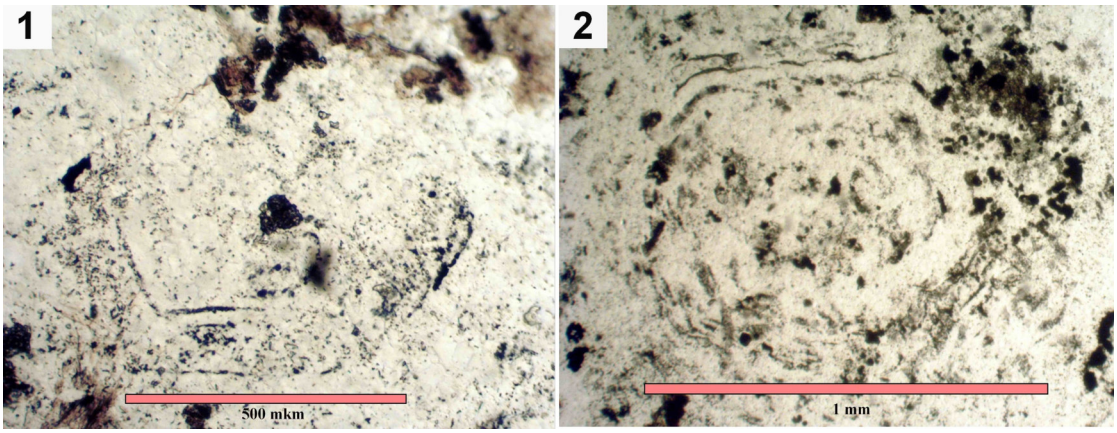


Рис. 5. Вирусоподобные структуры в микрокварцитах из базальтов. 5.1. – пятигранное сечение вирусоподобной структуры; 5.2. - «Сморщенная» вирусоподобная структура. Шлиф, без анализатора. Внешние и внутренние контуры сложены цепочками зерен гематита (Hem), хлорита (Chl) и эпидота (Ep). Внутри и снаружи микрокварцит.

Детали внутреннего строения микроорганизмов лучше всего сохраняются в процессах окремнения. Такие процессы могли происходить при формировании хемогенно-осадочных кремнистых пород Хогландской свиты. Следовательно, шестигранные и пятигранные зональные образования могут представлять собой окремненные икосаэдрические нуклеакапсиды супергигантских вирусов.

А на какие живые организмы могли нападать такие древние супергигантские вирусы? Современные гигантские вирусы паразитируют на амебах - микроскопических одноклеточных организмах из семейства *Amoebidae.* Все амебы – э**укарио́ты,** клетки которых содержат ядра, митохондрии, вакуоли и другие органеллы. Амёбы отличаются большой длиной генома, и, следовательно, могут иметь очень древнее происхождение. Так геном амёбы *Amoeba dubia* состоит из 690 млрд. пар нуклеотидов, для сравнения геном человека состоит из 3,2 млрд. пар. Наиболее древние микрофоссилии раковинных (панцирных) амеб, с возрастом 710 – 635 миллионов лет, были обнаружены в осадочных породах из Намибии .

Идентификация микрофоссилий амеб весьма затруднена из-за отсутствия характерных морфологических особенностей. Однако, в микрокварцитах из базальтов были обнаружены крупные (1-3 мм) овальные структуры с четкими контурами, сложенными зернами гематита, эпидота и хлорита, в их центральных частях присутствует микрокварцит более мелкозернистый, чем в окружающей основной массе. Эти амебообразные структуры практически всегда находятся в тесной ассоциации с зональными вирусоподобными структурами (Рис.6.1.), иногда в непосредственном срастании (Рис.6.2.).

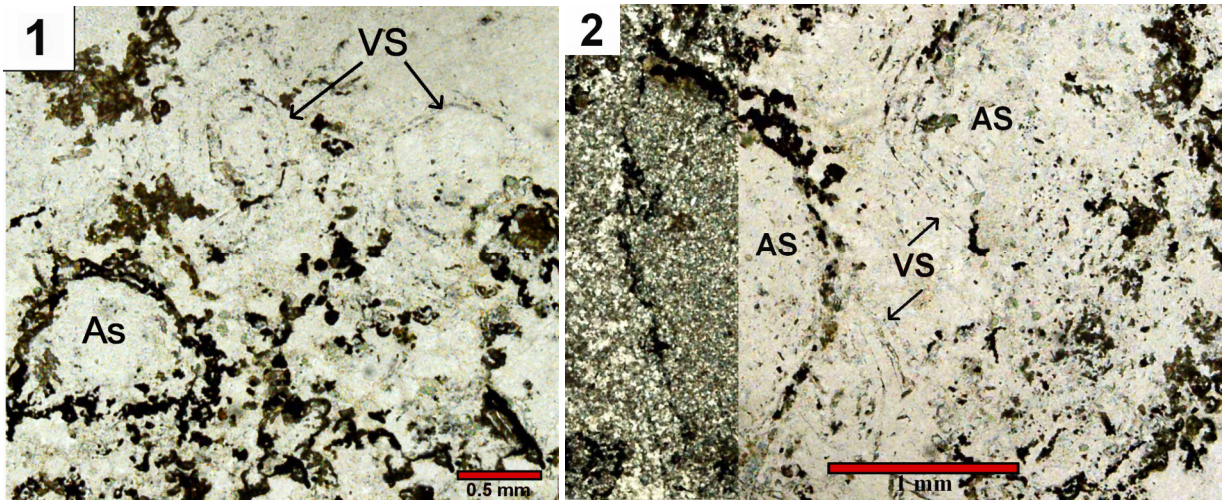


Рис. 6. Вирусоподобные VS структуры в ассоциации с амебообразными структурами AS в микрокварцитах базальтов. 6.1. Две VS около AS; 6.2. «Срастание» амебоподобных и вирусоподобных структур в микрокварцитах базальтов. AS – амебоподобная структура; VS – фрагменты вирусоподобных структур. Слева, без анализатора.; справа, с анализатором. Масштабная линейка – 0.5 мм.

Современные оболочечные вирусы проникают в клетку путем слияния клеточной мембраны и мембраны вирусной оболочки. Слияние происходит после взаимодействия вируса с рецептором за счет так называемых белков слияния. В клетку проникает внутренний компонент вириона. Белки вирусной оболочки остаются на поверхности клеточной мембраны.

Микрофоссилии спиральных цианобактерий

Но, если в Палеопротерозое существовали супергигантские вирусы, паразитирующие на амебах, то, последние, должны были чем-то питаться. В микрокварцитах из базальтов в окружении вирусов и амеб были обнаружены многочисленные спиральные структуры подобные по морфологии микрофоссилиям спиральных цианобактерий. Они относятся к древнейшим простейшим микроорганизмам – прокариотам, у которых не было ядра и ор-

ганелл. Внешние контуры спиральных структур сложены цепочками мелких зерен гематита, эпидота и хлорита, а внутри контуров микрокварцит или агрегаты зерен эпидота, гематита или хлорита (Рис. 7).

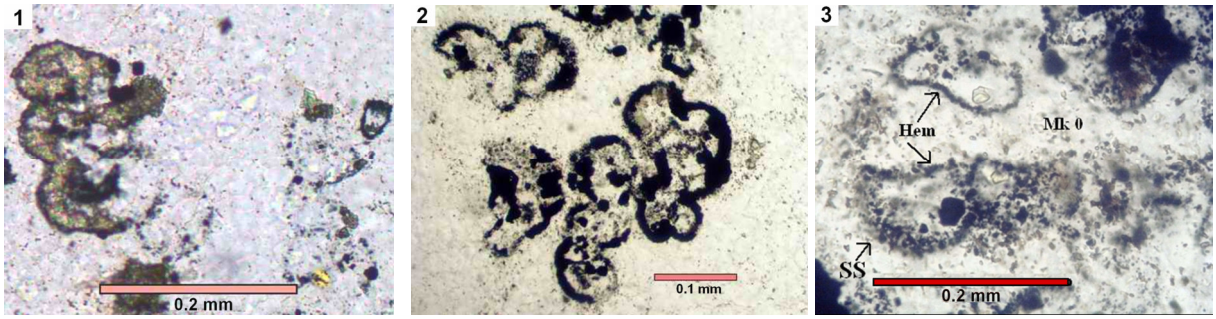


Рис. 7. Структуры спиралевидных цианобактерий в микрокварцитах из базальтов: 7.1. – спиралевидная структура с контурами, сложенными цепочками мелких зерен гематита и эпидота, центральные части замещены вторичным эпидотом; 7.2. – спиралевидные структуры, контуры которых сложены агрегатами мелких зерен гематита (Hem), а центральные части замещены микрокварцитом; 7.3. – фрагмент спиралевидной структуры (SS) с контурами, сложенными гематитом (Hem) внутри контура амебообразные структуры. Шлиф, без анализатора.

Внутри контура одной амебообразной структуры в микрокварците обнаружены бактерийподобные структуры, контуры которых сложены гематитом и эпидотом, а внутри микрокварцитом (Рис. 8В). Возможно, что это «заглоченные» амебообразным животным остатки «непереваренных» бактерий, или симбиотические образования, подобные митохондриям.

Микрофоссилии диатомовых водорослей

Кроме того, в тесной ассоциации с перечисленными структурами найдены образования подобные по морфологии диатомовым водорослям из рода *Hemiaulus* и *Triceratium* (Рис. 8.1; 8.2.). Они имеют внешние контуры похожие на чашки и треугольники, которые сложены цепочками мелких зерен гематита или эпидота и микрокварциты внутри. Причем диатомы именно этих видов известны как самые древние ископаемые диатомовые водоросли, найденные в породах ранней Юры (~185 млн. лет назад). Диатомы также имеют огромный геном до девяти миллиардов пар нуклеатидов (в три раза больше человеческого), и, возможно, очень древнее происхождение.

В микрокварцитах базальтов также была обнаружена структура, подобная многокамерной фораминифере (Рис.8.3).

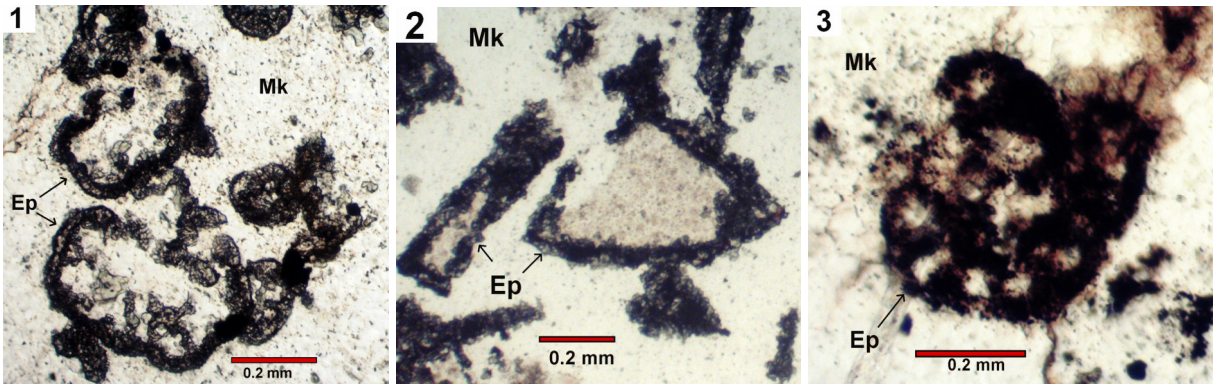


Рис. 8. Микрофоссилии диатомовых водорослей: 8.1. – *Hemiaulus* в микрокварцитах из базальтов: внешние контуры сложены цепочками зерен гематита и эпидота, а внутренние части микрокварцитом; 8.2. – *Triceratium* в микрокварцитах из риолитов; 8.3. – Фораминифераподобная структура в микрокварцитах базальтов (шлиф, без анализатора).

Изотопный состав углерода из микрокварцитов

Чтобы подтвердить возможность биологической природы впервые обнаруженных структур эукариот и вирусов были проведены изотопные масс-спектрометрические исследования углеродсодержащего материала, химически извлеченного из микрокварцитов. Природный углерод состоит из двух стабильных изотопов ^{12}C и ^{13}C. В органическом веществе биогенного происхождения благодаря процессам фотосинтеза происходит накопление легкого изотопа ^{12}C. Изотопный состав углерода выражается отношением $^{13}C/^{12}C$ ($\delta 13C$). При этом, знак “минус” указывает на то, что образец содержит меньше ^{13}C, чем стандарт. В горных породах, содержащих органическое вещество биогенного происхождения, увеличивается концентрация ^{12}C. Поэтому в углях оно составляет –23 до –27‰.

Результаты исследования изотопного состава углеродсодержащего материала (графита), извлеченного из микрокварцитов, показало, что он обогащен легким изотопом ^{12}C (–27 до – 29‰). Очевидно, это связано с присутствием в кремнистых породах остатков органического вещества биогенного происхождения, скорее всего планктонных микроорганизмов.

Фоссилизация микроорганизмов

Одним из важных условий сохранения деталей внутреннего строения микрофоссилий бактерий, эукариот и нуклеакапсидов вирусов, является их быстрая минерализация, которая должна происходить до начала деградации тел микроорганизмов. Лучше всего микроорганизмы без минерального скелета, сохраняются в процессах окремнения. Эти процессы наблюдались как около современных термальных источников, так и в древних гейзеритах. Экспериментальные исследования условий окремнения цианобактерий показали, что в нагретых, насыщенных кремнекислотой водах эти процессы происходят в интервале нескольких часов, практически при жизни микроорганизмов (Бактериальная палеонтология, 2002). Также имеются данные об экспериментальной фоссилизации вирусов кремнеземом, проникающим в различные вирусные структуры – белки и оболочки. При этом окремненные вирусы могут покрываться оксидами железа. Высокие концентрации оксида кремния в морской воде во время подводного извержения базальтовых и риолитовых лав также могли приводить к быстрой фоссилизации (окремнению и ожелезнению) морских планктонных микроорганизмов, в том числе и вирусов, и их захоронению в хемогенных кремнистых осадках, отлагавшихся на поверхности лавовых потоков.

Экспедиции

Конечно, очень хотелось вновь попасть на остров и собрать дополнительный каменный материал. И еще, надо было сделать хорошие фотографии очищенных от лишайников обнажений. Наконец, в 2014 году появилась возможность организовать экспедицию на остров Гогланд, но за свой счет.

Помимо традиционного снаряжения для отбора образцов: геологические молотки, кувалды, зубила, пришлось также взять болгарку, к ней алмазные отрезные диски, дрель и трубчатые алмазные сверла. Для фотографирования обнажения надо хорошо очистить. А сделать это не просто. Для этого Павел купил специальную жидкость для очистки памятников от лишайников и химических налетов. Жидкость оказалась сильно токсичной и при работе с ней нужны были резиновые перчатки. А чтобы препарат быстрее проник к поверхности камня, толстый слой лишайников следовало удалить металлической щеткой. Но и это еще не все, для окончательной очистки нужна была мойка высокого давления. Вода из ее сопла выходила под давлением в 70 атмосфер и смывала остатки налета. Но для работы мойки нужно много воды и электричество. Пришлось брать тридцатилитровые баки, переносной электрогенератор и к нему канистру бензина. Все это погрузили на корабль ВМФ и через десять часов прибыли на Гогланд.

За поездку на корабле до Гогланда пришлось заплатить – провести полевую учебную практику для студентов геоморфологов третьего курса Симферопольского университета, которых пригласило Русское географическое общество.

Пока А.М. Беляев читал студентам вводную лекцию и рассказывал о геологии острова, Павел, вместе со своим сыном девятиклассником Женей, обработал специальной жидкостью одно из обнажений. Для отмывки понадобилось десяток ведер воды. Но, получилось все замечательно, даже мойка высокого давления не понадобилась.

1 **2** **3**

Рис. 9. 1 – на лекции; 2 – обнажение до очистки, 3 – после очистки.

Для выпиливания образцов пришлось взять алмазную пилу по камню. А для изготовления аншлифов алмазные планшайбы и изготовить самодельный шлифовальный станок. Чтобы на месте в экспедиции обнаружить в образцах микрофоссилии размером, часто в доли миллиметра необходимы: бинокуляр, микроскоп, в том числе и рудный, и видеокамеру для фотографирования аншлифов.

1 **2**

Рис. 10. 1 – самодельный шлифовальный станок; 2 – работа с бинокуляром.

Новые результаты

И вот, наконец, момент истины. Новые результаты ошеломили! В микрокварцитах из брекчий в риолитах найдены структуры по морфологии подобные микрофоссилиям прокариот – коккоидных цианобактерий, а также структуры эукариот – чашки и треугольники диатомей *Hemiaulus* и *Triceratium*, однокамерных и многокамерных фораминифер, амебообразных структур, флагеллат (жгутиконосцев) и многоклеточных микроорганизмов. Кроме того, обнаружены шесть разновидностей структур, которые с большой долей вероятности можно отнести и к клеткам, и к вирусам. Кроме того, в цементе брекчий в микрокварцитах и серицитовом агрегате встречаются сферические микроксенолиты (глобулы – gl) до

0.3 мм в поперечнике, сложенные тонкозернистым кварцевым агрегатом (Рис. 13А). Они представляют собой песчинки, попавшие в кремнистый и в глубоководный тонкодисперсный пелитовый осадок в результате ветрового переноса песчаными бурями.

Коккоидные цианобактерии

В микрокварцитах (Mk) из риолитов обнаружены микрофоссилии **коккоидных цианобактерий.** В честь фирмы Сидосе – спонсора экспедиций, мы назвали их: *Entophysalis sidose* (11.2; 11.3). Это колонии окремненных сферических клеток, контуры которых сложены тонкозернистым эпидотом и хлоритом. В центрах сфер иногда наблюдаются темные образования типа «ядер». Возможно «сферы» лишь чехлы клеток, содержимое которых коллапсировало и выглядит как ядро (11.1.). Такие микрофоссилии ошибочно относили к эвкариотным водорослям и по их появлению судили о времени возникновения эукариот (Мейен, 1987). *Entophysalis sidose* превосходят современные *Entophysalis* в десять и более раз.

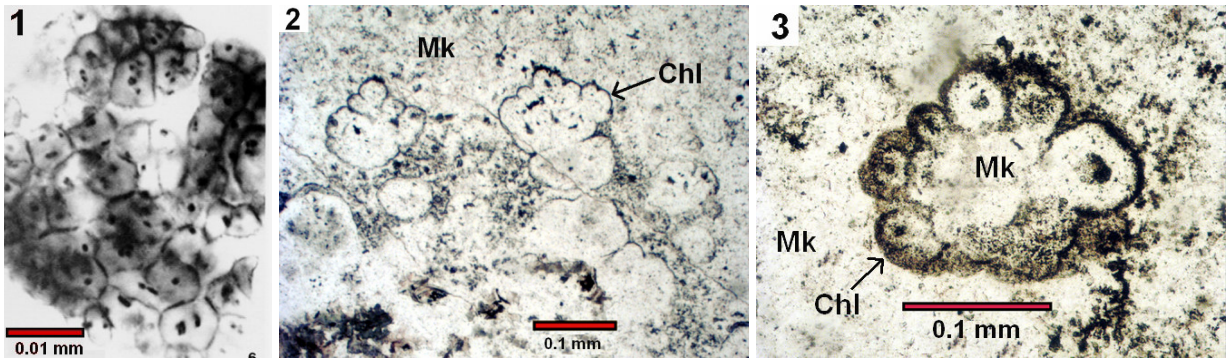


Рис. 11. Кокоидные цианобактерии *Entophysalis* (шлифы): 11.1 – современная *Eoentophysalis belcherensis;* 11.2. – 11.3. – *Entophysalis sidose* без анализатора.

Диатомовые водоросли

В микрокварцитах из цемента брекчий в риолитах найдены образования подобные по морфологии диатомовым водорослям из рода *Hemiaulus* и *Triceratium* (Рис.12). Их внешние контуры похожие на чашки (Рис.12.1.) и треугольники (Рис.12.2.), сложены цепочками мелких зерен гематита и микрокварциты внутри. По размерам диатомы *Hemiaulus* превосходят современные и ископаемые меловые в десять и более раз.

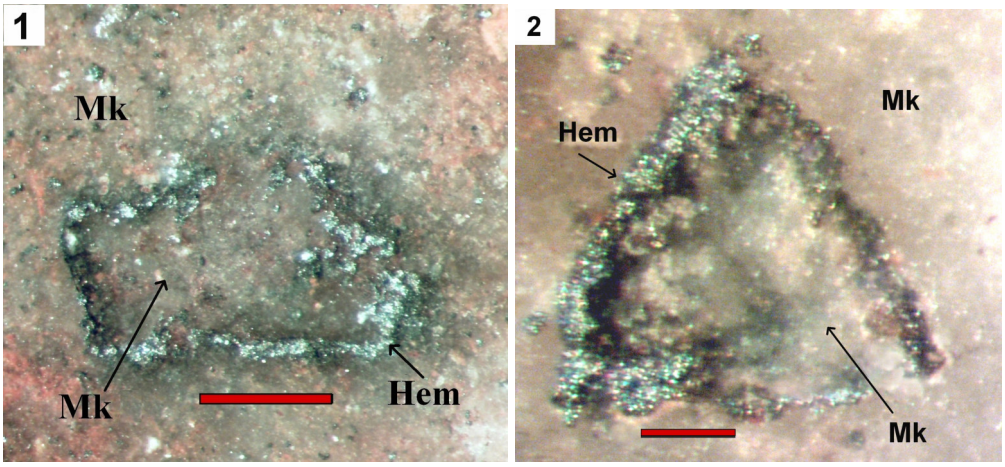


Рис. 12. Диатомеиподобные структуры в микрокварцитах (Mk 2) из цемента брекчий в риолитах (полированные образцы). Масштабная линейка 0.1 mm. 12.1. – род ***Hemiaulus***: внешние контуры сложены цепочками зерен гематита (Hem), а внутренние части микрокварцитом (Mk 0). 12.2. – род ***Triceratium*** в микрокварцитах (Mk 2): внешние контуры сложены гематитом (Hem) и эпидотом (Ep), а внутренние части микрокварцитом.

Фораминифераподобные структуры

В микрокварцитах из цемента брекчий в риолитах найдены многокамерные и однокамерные фораминифераподобные структуры. Их контуры сложены цепочками мелких зерен гематита (Рис. 13). В центральных частях одной из фораминифераподобных структур видны перегородки и зональный, округлый объект похожий на ядро, сложенные гематитом (Рис. 13.1.).

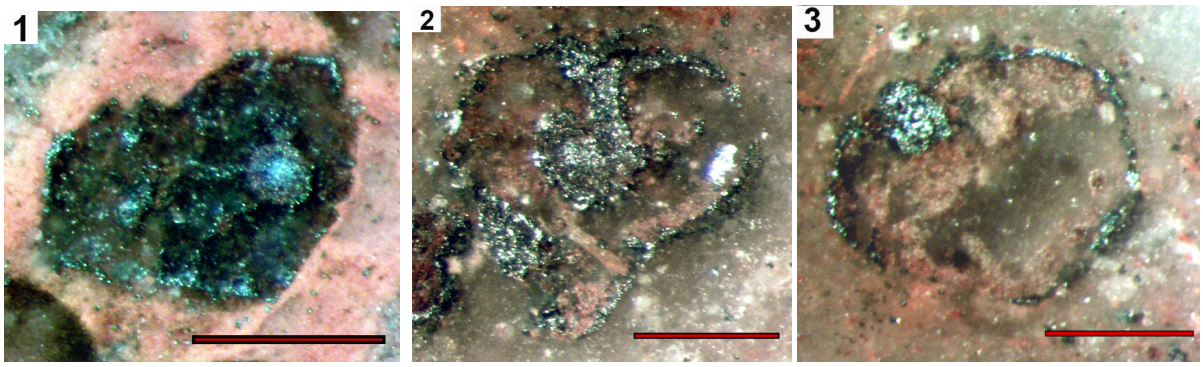


Рис. 13. Фораминифераподобные структуры в цементе брекчий в риолитах, с контурами, сложенными цепочками зерен гематита и микрокварцитом внутри (полированные образцы); Масштабная линейка 0.5 mm. 13.1. – структура с внутренними перегородками и зональным округлым «ядром»; 13.2. – многокамерная фораминифераподобная структура; 13.3. – однокамерная фораминифераподобная структура.

Амебообразные структуры в микрокварцитах из цемента брекчий в риолитах (полированные образцы) имеют изометричные или округлые внешние контуры (0.5 – 2 мм в поперечнике), сложенные цепочками зерен гематита, эпидота и хлорита.

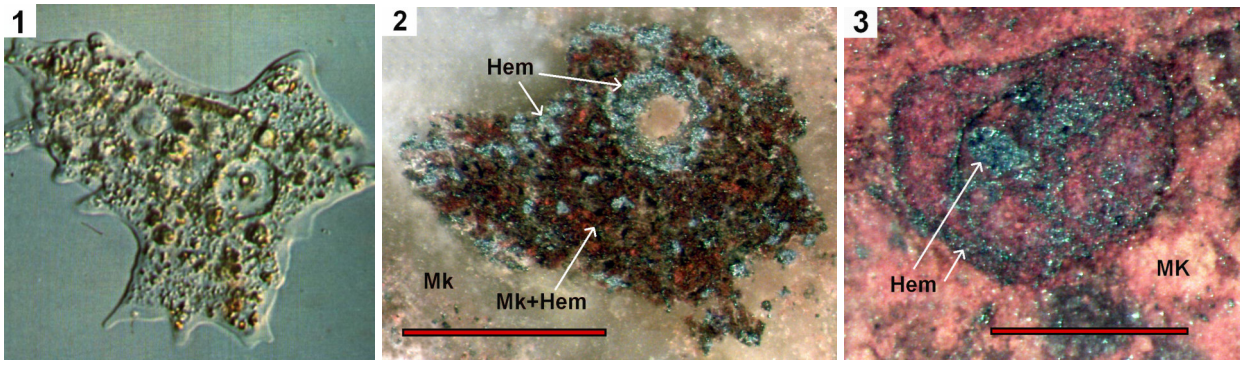


Рис. 14. 1. – современная амеба; 14.2. – амебообразная структура, сложенная бурым гематит-кварцитовым агрегатом с зональным округлым объектом, похожим на ядро (полированный образец); 14.3. – амебообразный объект с контурами и внутренними структурами сложенными цепочками зерен гематита (Hem), внутри контура и снаружи микрокварцит (полированный образец). Масштабная линейка 0.5 mm.

Флагеллата подобные структуры

Флагеллаты (жгутиконосцы) – одноклеточные организмы с оболочкой, заполненной цитоплазмой, с одним или более жгутикоподобными органеллами и покрытые слизистой пленкой. Эукариотные организмы также содержат ядра, вакуоли и митохондрии. Древнейшие микрофоссилии жгутиконосцев семейства *Silicoflagellidae* с кремневым скелетом известны в породах Триасового периода (199-250 млн лет назад).

В микрокварцитах мы обнаружили много структур, подобных микрофоссилиям флагеллат (Рис. 15). Наиболее хорошо сохранившуюся флагеллату мы назвали *Protoflagellates yukhalina*, в честь Павла Юхалина) (Рис. 15.3.). Они имеют округлые формы (0.5-1 мм в

поперечнике) и одно или несколько ответвлений подобных жгутикам. Внутри контуров флагеллата подобные структуры сложены микрокварцитом, окрашенным в бурый цвет окислами железа или кварц-гематитовым агрегатом, содержащим 10-30% зерен гематита. Кварц-гематитовый агрегат имеет специфическую симплектитовую структуру срастания двух минеральных фаз, сформированных в результате одновременной кристаллизации кремнистого геля и гидратов железа. Флагеллата подобные структуры вместе со жгутиками окружены кремнистой оболочкой, которая образовалась при окремнении внешней слизистой оболочки клетки. В центральных частях видны округлые образования подобные ядру и вакуоли, сложенные гематитом (Рис. 15.2.; 15.3.).

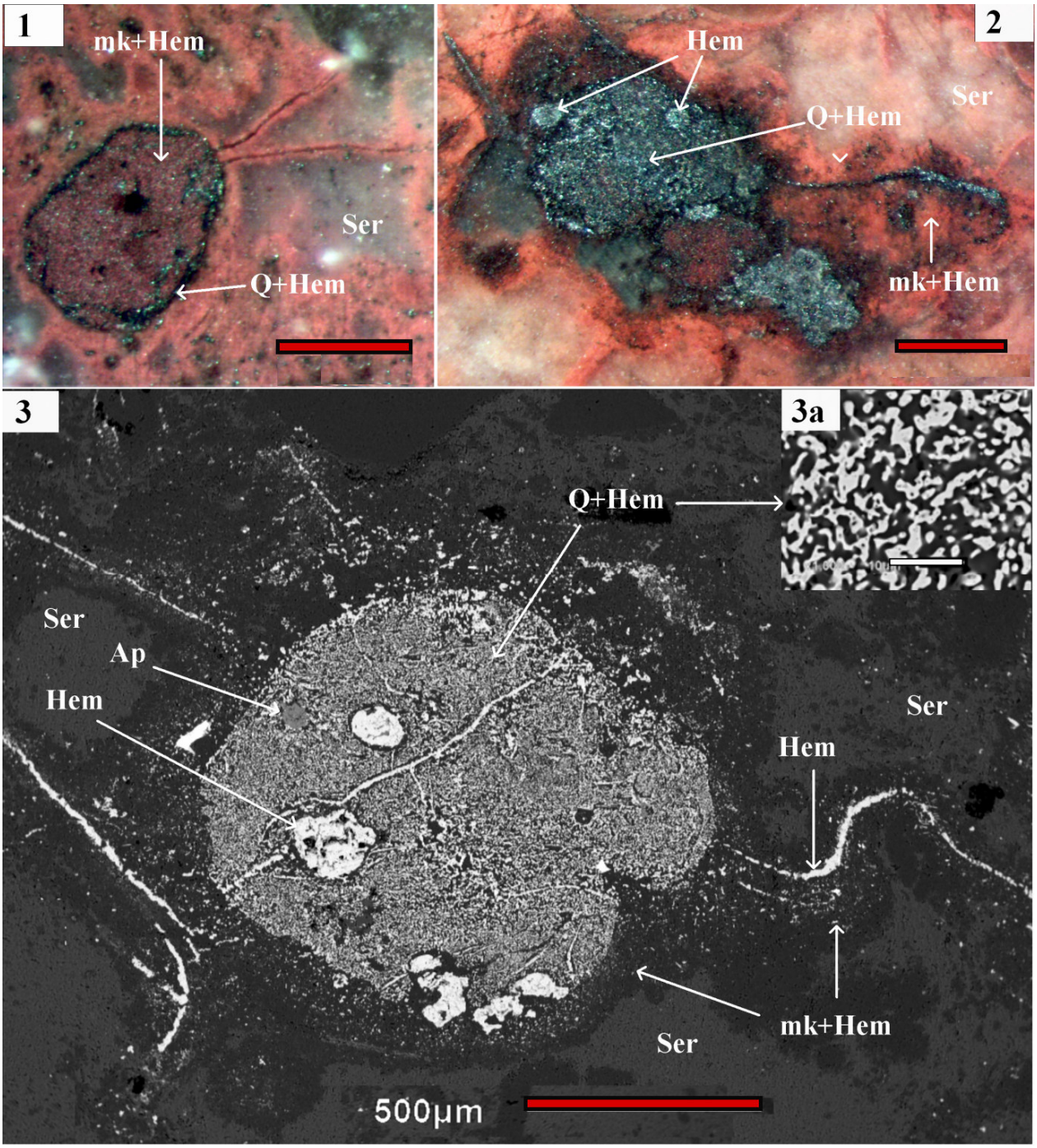


Рис. 15. **Структуры микрофоссилий флагеллат в микрокварцитах из цемента брекчий в риолитах. 15.1.** Структура флагеллаты с двумя жгутиками, сложенная микрокварцитом с вкрапленниками гематита (мк+Hem), в микрокварците (мк) и серицитовом агрегате (Ser). Аншлиф. **15.2.** Структура флагеллаты, сложенная кварц-гематитовым агрегатом (Q-Hem). Видны округлые обра-

зования, подобные ядру и вакуолям, сложенные гематитом. Аншлиф. **15.3.** *Protoflagellates yukhalina* в серицитовом агрегате – Ser (серое), внутри сложенная кварц-гематитовым агрегатом (Q-Hem, гематит – светлосерое, кварц – темно-серое) с симплектитовой структурой (**15.3а,** масштабная линейка – 5 мкм) (70% зерен Q и 30% зерен Hem). Два округлых образования, подобные ядру и вакуоли, замещены гематитом. Определено округлое зерно апатита (Ap). Микрофото в отраженных электронах на растровом электронном микроскопе JSM-6510LA. Аншлиф.

Структуры многоклеточных микроорганизмов в микрокварцитах и серицитовом агрегате цемента брекчий в риолитах в ассоциации с вирусоподобными структурами. Многоклеточными называются организмы эукариоты, состоящие более чем из одной клетки. Их появление относят к эре мезопротерозоя. Однако многоклеточными часто считают и колониальные сообщества бактерий.

В шлифах и аншлифах наблюдались объекты подобные микрофоссилиям многоклеточных организмов (Рис. 16). Они образованы несколькими округлыми формами, сложенными кварц-гематитовым агрегатом и окруженные снаружи микрокварцитом. Возможно, это окремненная слизистая оболочка.

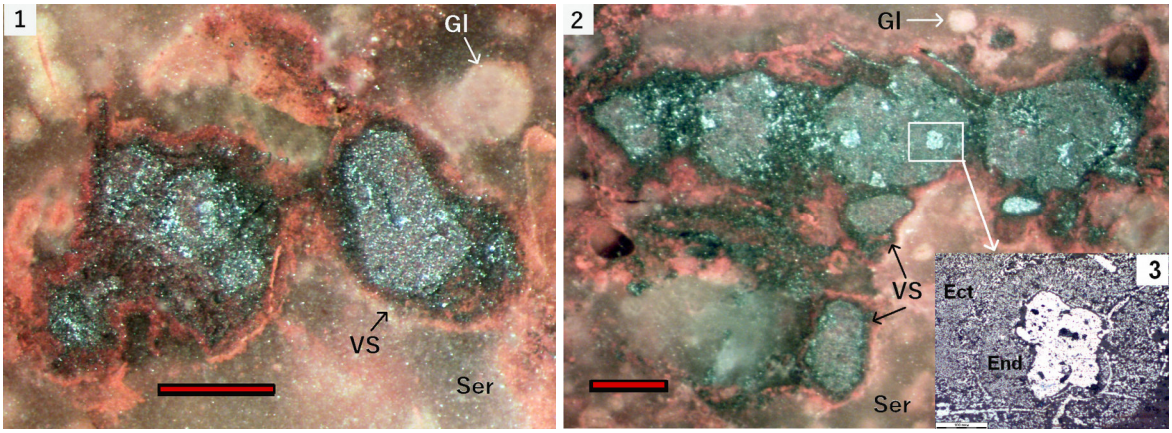


Рис. 16. Структуры многоклеточных микроорганизмов в ассоциации с удлиненными шестигранными вирусоподобными структурами в серицитовом агрегате (Ser) **из цемента брекчий в риолитах.** Фото аншлифов. Масштабная линейка – 0.5 mm.

16.1. Агрегат из четырех клеткоподобных структур (слева), сложенный кварц-гематитовым агрегатом, и окруженый розовым микрокварцитом, в ассоциации с удлиненной шестигранной вирусоподобной структурой VS (справа Gl – глобулы микрокварцита).

16.2. Агрегат из четырех линейно расположенных клеткоподобных структур, сложенных кварц-гематитовым агрегатом, и окруженый розовым микрокварцитом. Внизу две удлиненные шестигранные структуры VS, сложенные кварц-гематитовым агрегатом (Q-Hem) и окруженные микрокварцитом. Gl – глобулы микрокварцита.

16.3. Деталь внутреннего строения многоклеточной структуры. Образование, подобное ядру, сложено гематитом и окружено радиально-лучистым кварц-гематитовым агрегатом с симплектитовой структурой (Q-Hem), заместившим эндоплазму (End) и эктоплазму (Ect) клетки. Аншлиф. Фото в отраженном свете с анализатором

В ассоциации с ромбовидными или линейными многоклеточными образованиями также встречаются удлиненные шестигранные врусоподобные структуры (VS), сложенные кварц-гематитовым агрегатом (Q-Hem), (Рис. 16). В одной многоклеточной структур наблюдается образование, подобное ядру, сложенное гематитом и окруженное радиально-лучистым кварц-гематитовым агрегатом (Рис. 16.2.), который образовался при кристаллизации смеси кремнистого геля и гидратов железа, заместивших эндоплазму (End) и эктоплазму (Ect) клетки.

В цементе брекчий в риолитах в микрокварцитах и в серицитовом агрегате также наблюдаются еще пять разновидностей шестигранных или пятигранных структур внешней морфологии сходные с современными икосаэдрическими капсидами и «хвостами» (tail) гигантских вирусов (Рис. 17).

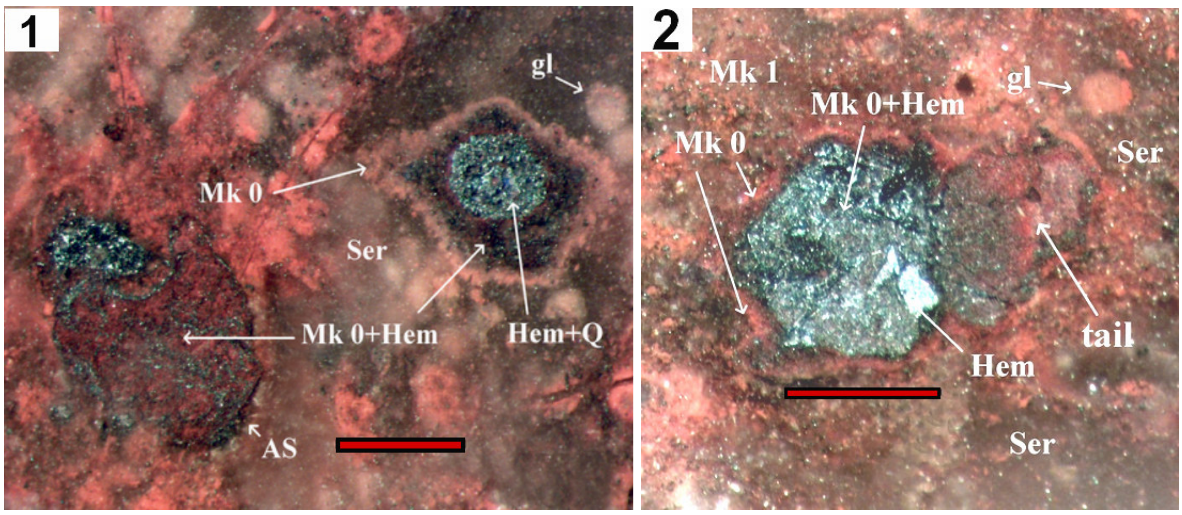


Рис. 17. Структуры подобные нуклеакапсидам мегавирусов (VS) из цемента брекчий в риолитах, в аншлифах, полированные образцы. Масштабная линейка – 500 mkm.

17.1 – зональная пятигранная VS, сложенная кварц-гематитовым агрегатом в ассоциации с AS и глобулями микроквацитов.

17.2 – Шестигранная VS сложенная кварц-гематитовым агрегатом, вместе с мешковидным образованием – хвостом (tail), окруженная розовым микрокварцитом. В серицитовом агрегате округлые глобулы микрокварцитов.

Таким образом, впервые в палеопротерозойских микрокварцитах Гогланда найдены структуры микрофоссилий древнейших эукариот и вирусов, которые являются окремненными и ожелезненными планктонными микроорганизмами, и с их присутствием связано обогащение кремнистых пород лёгким изотопом углерода.

Литература

1. Анатолий Беляев "Загадка острова Гогланд". Повесть. Санкт-Петербургский государственный университет, Геологический факультет, СПб, 2008, 168 с. http://www.abel-2.ru/art.html.
2. Бактериальная палеонтология (ред. Розанов А.Ю.) Москва, ПИН РАН, 2002, 188 с.
3. Беляев А. М. Петрология вулканитов формации рапакиви (о. Гогланд), //Региональная геология и металлогения, №55, 2013, с. 28-36. http://www.abel-2.ru/sci.html.
4. 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. http://www.abel-2.ru/sci.html.
5. Беляев А.М. Вулканы и рапакиви //Многогранная геология, Изд. ВНИИОкеангеология, СПб, 2008, с.
6. Беляев А.М. Эколого-геологические условия эволюции и фоссилизации планктонных микроорганизмов в Палеопротерозое //Изд-во СПбГУ. Материалы Восемнадцатой международной молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование», 2018, с.34-40. http://www.abel-2.ru/sci.html.
7. Беляев А.М., Юхалин П.В. Фосфатные останки нуклеотидов в микрофоссилиях палеопротерозойских эукариот //Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, СПб. 2018. Труды Международного семинара Геология, геоэкология, эволюционная география. Том XVII, с. 45-49; http://www.abel-2.ru/sci.html
8. Belyaev A.M. Paleoproterozoic Underwater Volcanism and Microfossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks (Hogland Island, Russia) // Journal of Earth Science, 2018; Vol. 29, No. 6, p. 1431–1442, doi.org/10.1007/s12583-018-0883-4, текст доступен по ссылке: https://rdcu.be/8n18

9. Беляев А.М. Перспективы изучения микрофоссилий в вулканогенно-осадочных кремнистых породах Палеопротерозоя //Изд. ВСЕГЕИ. СПб. Материалы LXIV сессии Палеонтологического общества, 2019, т.2. с. 28-43; http://www.abel-2.ru/sci.html
10. Львов Д.К., и др. Гигантские вирусы: происхождение, распространение, таксономические, структурно-морфологические и молекулярно-биологические характеристики /Вопросы вирусологии, Т. 63, № 1 (2018).
11. Мейен С.В. Основы палеоботаники //М., «Недра». 1987.