

УДК 582.232:551.233

**Е.А. ЖЕГАЛЛО¹, Е.И. ТЕМБРЕЛ², Г.А. КАРПОВ², Л.М. ГЕРАСИМЕНКО³,
В.К. ОРЛЕАНСКИЙ³**

¹Палеонтологический ин-т РАН им. А.А. Борисяка,
ул. Профсоюзная, 123, 117997 Москва, Россия

²Ин-т вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
б. Пийпа, 9, 683006 Петропавловск-Камчатский, Россия

³Ин-т микробиологии РАН им. С.И. Виноградского,
просп. 60-летия Октября, д. 7, корп. 2, 117312 Москва, Россия
e-mail: orleanog@mail.ru

АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНЫЙ МАТ И ЕГО РОЛЬ В ОТЛОЖЕНИИ КРЕМНИСТОГО КОМПОНЕНТА (КАЛЬДЕРА ВУЛКАНА УЗОН, КАМЧАТКА)

Впервые представлен механизм формирования специфических биокремнистых пластинчатых отложений, характерных лишь для единичных гидротермальных источников. Таким источником в кальдере вулкана Узон является источник Термофильный. Пластинчатые биокремнистые осадки формируются только при сочетании трех факторов: повышенное содержание кремния в растворе (до 400 мг/л); наличие растущего альгобактериального мата и обилие газовых проколов по шлейфу стока источника непосредственно в зоне развития альгобактериального мата. Газовые проколы под альгобактериальным матом обуславливают приподнимание в виде бугров, слоев мата над потоком ручья, их обсыханию. В этих условиях слои мата функционируют как насос на испарение воды источника (принцип фитиля). В результате этого процесса происходит локальное накопление в приподнятых слоях участка мата кремневого компонента (за счет испарения воды и фоссилизации биоты) с последующим опусканием окремнелого слоя или его фрагментов на дно. Процесс может повторяться неоднократно. Обнаруженная толщина осадочных биоминеральных структур достигала около 30 см в зоне действия источника. Образовавшиеся кремнистые биоминеральные структуры предлагается называть биосилицитами.

Ключевые слова: *Cyanoprokaryota*, гидротермальные источники, окремнение биоты.

Введение

Современные процессы на геотермальных площадках – это аналоги событий, которые происходили на ранней стадии развития планеты Земля. Поэтому, изучая современные процессы, можно понять условия, существовавшие в те далекие времена, а также расшифровать те палеонтологические находки, которые обнаруживаются в геологических отложениях соответствующих периодов.

Цель данной работы – изучение роли слоистого водорослевого биоценоза в накоплении кремневого компонента в шлейфе ручья термаль-

© Е.А. Жегалло, Е.И. Тембрел, Г.А. Карпов, Л.М. Герасименко,
В.К. Орлеанский, 2012

ного потока. Статья является продолжением ранее проведенной нами работы по окремнению водорослей в гейзерных отложениях Камчатки.

Материалы и методы

Объектом исследования был источник Термофильный в кальдере вулкана Узон, где по стоку развивается альгобактериальное сообщество, которое формирует слоистый водорослевый мат. Наблюдения показали, что доминирующими организмами были осцилляториевые синезеленые водоросли. Отобранные образцы в полевых условиях исследовали с помощью полевого светового микроскопа МБИ-4, в лабораторных условиях – в Палеонтологическом ин-те РАН с помощью сканирующего электронного микроскопа Cam-Scan-4 с совмещенным микроанализатором. Образцы изучали в виде сколов.

Результаты и обсуждение

Работа проведена на источнике Термофильный в кальдере вулкана Узон, где по стоку горячего ручья с температурой 57–35 °С обильно и постоянно развивается альгобактериальное сообщество, которое формирует слоистый водорослевый мат толщиной от 1 до 2,5 мм в растущей верхней зеленой части (рис. 1). Исследование в полевых условиях показало, что доминирующими водорослями в изучаемых нами точках при температуре 55–45 °С оказались *Cyanophyta*, принадлежащие к представителям осцилляториевых водорослей, а именно *Phormidium molle* (Kütz.) Gomont и *Oscillatoria terebriformis* (Agardh) Elenkin emend. (Голлербах и др., 1953).



Рис. 1. Альгобактериальный мат по течению термального источника Термофильный

Воды источника Термофильный в истоке по химическому составу относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-натриево-кальциевым с общей минерализацией 1,5–4,5 г/л. Особенностью данного источника является высокое содержание кремния при температуре 70–25 °С (в пересчете на ортокремневую кислоту – до 400 мг/л H_4SiO_4 в растворенной и 189 мг/л в коллоидной формах), рН 6,5–6,7.

Водорослевый мат, структурообразующим компонентом которого являются представители названных выше осцилляториевых синезеленых водорослей, развивается поверх слоя пластин толщиной 0,2–1 мм, представляющих собой слоистое осадочное образование (рис. 2). Зондовый анализ, проведенный при изучении в электронном микроскопе, в большинстве случаев показал наличие и доминирование пика кремния.

Ниже представлены данные химического анализа таких пластин – отложений SiO_2 – 46,81, TiO_2 – 0,01, Al_2O_3 – 0,55, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{FeO})$ – 1,07, MnO – 0,22, MgO – 0,89, CaO – 18,11; P_2O_6 – 0,09, Na_2O – 0,21, K_2O – 0,10, BaO – 0,02, SrO – 0,08, потери при прокаливании – 31,84. Видно, что основными компонентами являются кремний и кальций. Кривые инфракрасного спектра этого вещества также показали наличие опала и карбонатов.



Рис. 2. Окремненные пластины под слоем водорослевого мата (верхняя растущая часть керна сдвинута)

Залегание пластин горизонтальное, пластины не скреплены между собой в монолит и легко отделяются друг от друга. Содержание кремнезема в термальных растворах современных гидротермальных систем, как правило, не достигает предела насыщения и произвольного осаждения кремния не должно происходить. Однако обследование потока ручья источника и растущего водорослевого мата показало непосредственную связь отложений таких слоистых осадков с жизнедеятельностью растущего альгобактериального мата. Это проявляется в том, что на поверхности мата данного источника, растущего по шлейфу стока, часто можно видеть отдельные обсохшие бугорки высотой до 5 см, покрытые минерализованной коркой белого цвета толщиной до 3 мм (рис. 3, 4). Наши наблюдения показали, что образование таких бугров обусловлено активным выделением газов (из многочисленных точечных проколов)

под альгобактериальным матом (рис. 5). Выходящий газ, концентрируясь в том или ином месте под водорослевым матом, а иногда именно над газовым проколом, способствует приподнятию растущей водорослевой биопленки над поверхностью потока воды. Микроскопирование материала приподнятого участка мата показало, что структура верхнего минерализованного слоя представляет собой слои водорослей, в которых и происходит отложение кремния, аккумулирующегося здесь за счет поступления воды с относительно высоким, как указывалось выше, содержанием кремния из протекающей рядом воды путем её подсоса (принцип фитиля).



Рис. 3. Обсохшие бугры альгобактериального мата, приподнятые над поверхностью потока ручья

При искусственном высушивании прилегающих к белесым слоям нижних зеленых слоев отмечено, что прослойки между слоями, а возможно, и сами слои, частично белеют, что свидетельствует о значительном наличии и в них минеральной компоненты. При высушивании растущего участка мата, расположенного в потоке ручья, подобного эффекта белых прослоек не отмечено, что совпадает также с наблюдениями на других источниках (Сороковикова, 2007). При погружении обратно в толщу воды минерализованного слоя он вновь зарастает биопленкой с возможным повторением минерализации по описанному выше пути, что, по-видимому, обуславливает накопление слоистых кремнистых пластинок в районе существования данного мата. Часть пластин имеет красновато-буроватый оттенок (возможно, за счет присутствия железа). Слоистость водорослевого мата на изучаемом источнике имеет такую специфику, что слои не скрепляются друг с другом, а наоборот, относительно легко расслаиваются. Эта особенность далее генетически переходит и в осадочные образования, где, как уже указывалось, пластины автономны и не скреплены в монолит.



Рис. 4. Участок подсохшего бугра крупным планом



Рис. 5. Газовый прокол дна под высохшей пленкой мата

Изучение кремненных пластин под электронным микроскопом показало, что образцы состоят из пластинчатых образований, наложенных друг на друга (рис. 6). В просветах или непосредственно на поверхности пластин хорошо видны кремненные нити водорослей, которые частично или практически полностью облекаются гелем кремнезема (рис. 7). В отдельных случаях в препаратах обнаруживается большое количество диатомовых водорослей, хорошо различимых по своей специфической «лодочной» форме, а также тонкие, около 1 мкм, тоже минерализованные ветвящиеся нити, которые мы отнесли к актиномицетам. Такие виды кремненных нитей постоянно встречаются в изучаемых палеонтологами геологических образцах.

Описываемые нами кремненные осадочные отложения в источнике кальдеры вулкана Узон имеют локальное распространение и обуслов-

лены специфическими условиями источника Термофильный. Его особенности характеризуются относительно повышенным содержанием кремния в растворе и большой поверхностью шлейфа стока, причем, что особенно важно, наличием многочисленного количества действующих газовых проколов практически под всей этой поверхностью, формирующих описываемые нами подсыхающие водорослевые бугры, на которых идет накопление соединений кремния.

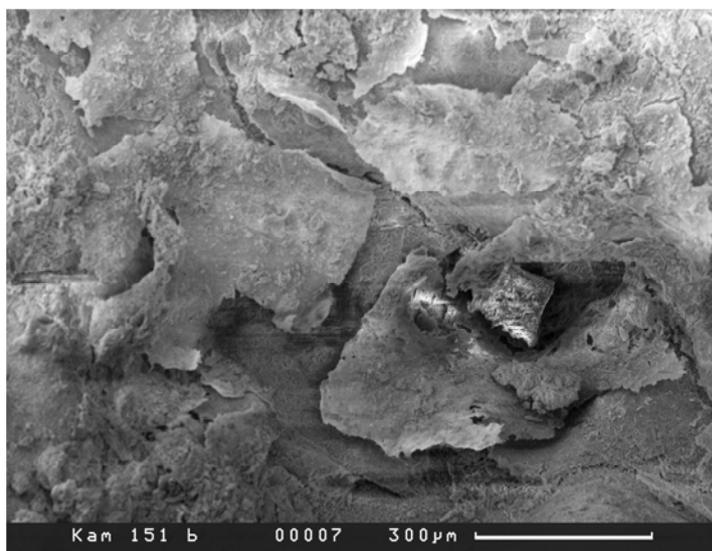


Рис. 6. Вид окремненного слоя мата в сканирующем микроскопе

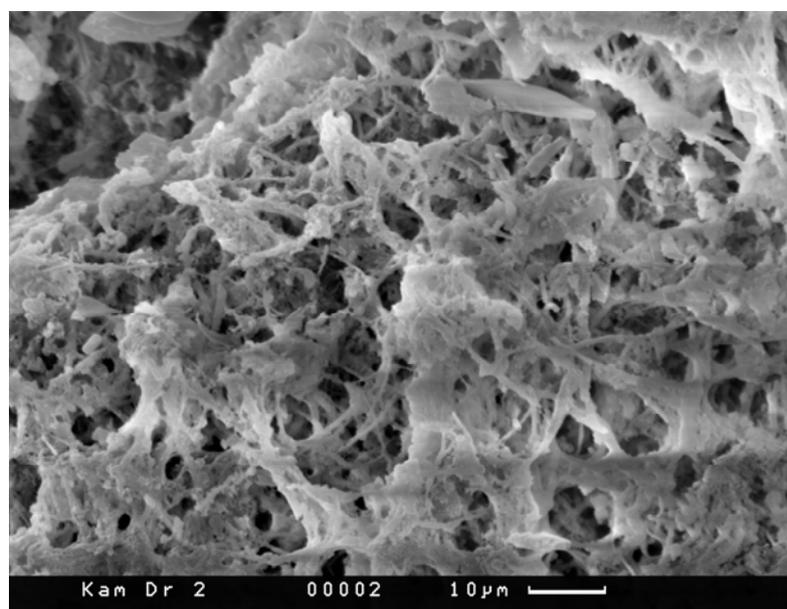


Рис. 7. Участки пластины более крупным планом

Водорослевые маты практически развиваются в потоке каждого термального источника, происходит и локальное высыхание биопленок, но эти явления имеют крайне небольшую площадь, а образующиеся пластины не закрепляются на месте и уносятся временными водными потоками.



Рис. 8. Образование кремненной чаши излива – «вулканчика», при малом дебите термального источника

Таким образом, на гидротермальных источниках Камчатки имеется три варианта окаменения (фоссилизации) биоценоза – по принципу испарения и концентрации раствора до его выпаривания:

1) самый яркий – это образование гейзеритовых построек с включением в них термофильного биоценоза. Минеральная вода поступает в пульсирующем режиме (Жегалло и др., 2007);

2) описываемый нами способ – выпаривание и концентрация водного раствора в потоке источника, но при обязательном содействии выросшего биоценоза (мата);

3) минерализация периферии грифонов источников с образованием бугров-«вулканчиков». Принцип тот же – выпаривание раствора, но не в потоке, а при медленном высыхающем смачивании боков грифона источника с образованием чаши, при участии тех же водорослей (рис. 8) (Орлеанский и др., 2007). В этом случае наблюдается минерализация с образованием каменного монолита.

Заключение

1. В результате проведенной работы детально описан механизм, обуславливающий выпадение соединений кремния в виде окаменевших пластин биоты в потоке термального источника. Принцип механизма: испарение и концентрация раствора источника при обязательном участии термофильного биоценоза. Результат процесса – образование специфического окремненного пластинчатого осадка.

2. Накопление изученных кремнистых отложений обусловлено сочетанием ряда факторов, присущих данному источнику.

3. В результате описываемого процесса формируется специфическая порода, которая в научной литературе получила термин **биосилициты** – органокремниевое (органосиликатное) формирование, включающее в себя биоформенные структуры (Карпов и др., 2006). Подобные образования имеют большое значение при палеонтологическом изучении вулканогенных пород, а также зафиксированного в окремненном состоянии в них биологического разнообразия организмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем», грантов РФФИ № 10-04-01475, 11-05-00572, 11-05-00483.

Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. – М.: Сов. наука, 1953. – 652 с.

Жегалло Е.А., Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Герасименко Л.М., Орлеанский В.К. *Synophyta* в гейзеритовых отложениях Камчатки // Альгология. – 2007. – **17**, №1. – С. 88–92.

Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Жегалло Е.А., Орлеанский В.К. Биосилициты-отложения субщелочных вод горячих источников и гейзеров // Мат. Крашенинских чтений. – Петропавловск-Камчат., 2006. – С. 122–127.

Орлеанский В.К., Карпов Г.А., Жегалло Е.А., Герасименко Л.М. Биогенно-кремнистые постройки термальных полей и их лабораторное моделирование // Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологических миров. – Сыктывкар: Геопринт, 2007. – С. 127–128.

Сороковикова Е.Г., Белых О.И., Лихошвай Е.В. Цианообактерии термальных источников Байкальской рифтовой зоны: видовой состав, ультраструктура клеток, биоминерализация кремния // Современная палеонтология, классические и новейшие методы. – М.: ПИН РАН, 2007. – С. 11–18.

Получена 07.04.11

Рекомендовала в печать А.П. Олыштынская

E.A. Zhegallo¹, E.I. Tembre², G.A. Karpov², L.M. Gerasimenko³, V.K. Orleansky³

¹A.A. Borisiak Paleontology Inst.,
Profsoyuznaya St., 123, 117997 Moscow, Russia

²Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS,
9, Piip Boulevard, 683006 Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

³S.N. Vinogradsky Institute of Microbiology,
7-2, Prosp. 60-Letiya Oktiabrya, 117312 Moscow, Russia

THE ALGOBACTERIAL MAT AND ITS ROLE IN SILICA DEPOSITS (CASE STUDY OF THE CALDERA OF UZON VOLCANO, KAMCHATKA)

The role algobacterial mat in accumulation of silicon in sedimentary rock of hydrothermal sources is investigated. It is shown, that formation of this rock is result of influence of three factors: the content a plenty of silicon in water of a source (up to 400 mg/L; growth algobacterial mat in a stream of water of a source; the formation and accumulation of gas bubbles under layers of algobacterial mat. Gas acts from punctures of a bottom of a stream of a source and raises separate site slayers of mat. Height of such eminences are about 5 cm above a surface of a level of a stream. In these eminences there is an evaporation of hydrothermal water and accumulation of silicon. Result of this process - formation of siliceous plates on current of hydrothermal stream . These siliceous plates include strings of cyanobacteria. Authors name such rock filled with biota, biosilicite. Thickness of deposits under algobacterial mat reach up to 30 cm in area of a hydrothermal source. The received data help to decipher conditions sedimentation of the most ancient hydrothermal systems.

Key words: *Cyanoprocarvota*, hydrothermal springs, petrified biota.