

УДК 551.21+551.233+552.551+579.26:550.72(571.66)

БИОМОРФНАЯ УЛЬТРАСТРУКТУРА ГЕЙЗЕРИТА: ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ,  
СЛЕДСТВИЯ, ГЕНЕЗИС**Г.А. Карпов<sup>1</sup>, Е.А. Жегалло<sup>2</sup>, Е.Г. Лупикина<sup>1</sup>, В.К. Орлеанский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [karpovga@kscnet.ru](mailto:karpovga@kscnet.ru)*

<sup>2</sup> *Палеонтологический институт РАН, г. Москва*

<sup>3</sup> *Институт микробиологии РАН, г. Москва*

Замечательным проявлением гейзерного режима истечения термальных вод в областях современного вулканизма являются постройки гейзерита – породы, состоящей, в основном, из опала. По общепринятой схеме [5] гейзеритовые слои образуются вокруг жерла гейзера за счет осаждения коллоидного кремнезема, содержащегося в термальной воде. В зависимости от рельефа места выходов гейзеров и от режима их работы вокруг жерл формируются своеобразные постройки гейзерита в виде конусов, башен, столбов, покровов. До недавнего времени не подвергалось сомнению представление о чисто хемогенной природе гейзеритов и о полной литотипности вещества их построек. В конце прошлого века, с усилением интереса микробиологов к термофильным микроорганизмам, было подмечено, что как в руслах термальных источников, так и непосредственно на поверхности гейзеритовых покровов обычно развиваются синезеленые водоросли. Нередко их колонии облекают периферийные зоны ручьев с температурой более 90°C.

С развитием электронной микроскопии появилась возможность исследования разрезов гейзеритов под гораздо большим увеличением, чем это было возможно на световом микроскопе. Выяснилось, что микроструктура гейзерита очень неоднородна. Наравне с участками развития опаловидного вещества, имеющего характерные для хемогенного генезиса колломорфную, глобулярную структуры, обычно присутствуют многочисленные биотические включения. Часть из них носит безусловно ксеногенный характер – это диатомовые водоросли, фрагменты мхов и древесины, занесенные ветром и временными водотоками. Но нередко биота представлена хорошо выраженными морфологически структурами fossilized синезеленых водорослей характерной ультраструктуры [3]. Причем часто они буквально пронизывают массу гейзерита, занимая более 50% объема вещества. В таком случае гейзериты подпадают под определение – «биолиты» [7]. У нас возникло предположение, что именно колонии термофильных микроорганизмов являются своеобразной матрицей, по которой происходит опализация при гейзеритообразовании. Но являются ли синезеленые пассивной подложкой в их постмортальный период, или опализация происходит вследствие физиологи-

Таблица № 1

Химический состав гейзерных терм Долины Гейзеров<sup>1</sup> и источников Академии Наук<sup>2</sup> (мг/л)

Гейзер	t°C	pH <sub>20</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Жемчужный <sup>1</sup>		8,49	0,1	581,4	59,1	22,0	0,7	<0,3	<0,3	61,6	1,5	794,3	182,5
Великан <sup>1</sup>	97	8,65	1,0	612,0	44,4	24,0	0,2	<0,3	<0,3	67,0	2,1	873,0	163,0
Неистовый <sup>2</sup>	98	9,49	<0,1	355,1	16,4	3,2	0,2	-	-	46,4	36,0	429,1	105,7

## Продолжение таблицы

Гейзер	F <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> раств.	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> кол.	Li	Rb	Cs	Br	As	Cu	Zn	Ag	M, г/л
Жемчужный <sup>1</sup>	1,3	108,8	181,0	229,0	3,15	0,40	0,004	2,5	0,7	0,002	0,05	0,0001	2,22
Великан <sup>1</sup>	2,0	117,0	177,0	116,0	1,06	0,16	0,20	1,0	0,07	0,0001	0,0009	-	2,20
Неистовый <sup>2</sup>	5,9	50,6	189,6	337,6	1,09	0,07	0,10	1,9	0,19	0,001	0,032	-	1,57

Гидрохимические анализы выполнены в аналитической лаборатории Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Аналитики: С.В. Сергеева и А.А. Смышляева. Содержание микроэлементов выполнено на ICP-MS (Аналитический центр ОИГГ СО РАН, г. Новосибирск).

Таблица № 2

## Состав свободных газов (объемн. %%) гейзерных терм

Место отбора	t°C	pH	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Ar
Трифон вблизи ванны гейзера «Великан»	94	8,50	0,259	0,163	8,57	83,32	0,00	7,431	0,011	0,0012	-	-	-	0,187

Анализ выполнен в газовой-хроматографической лаборатории Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Аналитик: В.Н. Шапарь.

Таблица № 3

## Химический состав гейзерита (вес. %)

Гейзер	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	n.n.n.	H <sub>2</sub> O
Великан*	88,37	0,05	0,61	3,76	-	-	-	1,33	0,06	0,12	0,21	0,17	0,11	5,15	5,95
Жемчужный**	90,60	0,03	0,59	0,00	0,24	0,06	0,13	0,40	0,0	0,0	не об.	-	не об.	4,40	3,07
Неистовый**	78,42	0,28	6,40	0,98	0,72	0,50	1,14	1,90	0,47	0,0	-	-	-	5,55	3,55

Примечание: \* Данные С.И. Набоко [ ]; \*\* – наши данные, 2005 г., не об. – не обнаружено, «-» – не определялось. Аналитик: В.В. Дунин-Барковская

ческой деятельности микроорганизмов? Можно ли увидеть доказательства этого? Целью настоящего сообщения и является рассмотрение этих вопросов.

### **1. Объекты исследований и общая характеристика среды гейзеритообразования**

В областях современного вулканизма практически все гейзериты отлагаются из субщелочных термальных вод [5, 8, 10, 11]. Нами исследовались растворы гейзеров и их осадки преимущественно Долины Гейзеров, а также кальдеры Узон и кальдеры Академии Наук на Камчатке.

#### **Физико-химические параметры гейзерных гидротерм**

В гейзерных водах кремний присутствует, главным образом, в растворенной и в большей степени – в коллоидной форме (табл. 1). Как известно, растворимость большинства солей падает с понижением температуры. При выбросе кипящего раствора с глубины канала гейзера на поверхность земли происходит резкое снижение температуры, давления, интенсивное парообразование и как следствие – потеря значительной части растворенной углекислоты и некоторое понижение щелочности раствора. Кроме того, с паром уходит порядка 10% дистиллированной воды и остающийся раствор будет более минерализованным. Таким образом, охлажденная вода гейзера, попадающая на поверхность постройки гейзерита, становится менее щелочной, пересыщенной относительно кремнезема, который и выпадает из нее в виде своеобразной накипи окислов кремния.

Как видно из данных таблицы 1 в солевом составе гейзерных вод преобладает хлоридно-натриевая компонента. Среди анионов значительны содержания сульфат-иона и гидрокарбонат-иона. В катионной части обычны Na, K, Ca, всегда присутствует ион аммония. В гейзерных водах всегда много бора, обычны следы железа и алюминия. В составе свободных (спонтанных) газов гейзерных вод преобладает углекислый газ, всегда присутствуют азот и метан, в небольших количествах содержатся водород, аргон (табл. 2). Соотношение аргона и азота свидетельствует о наличии воздушной компоненты в газах гидротерм. В химическом составе гейзерита основное место занимает Si. Всегда присутствуют Al, Fe, Ca, Na, Mg, K. Вода занимает до 6% вес., а потери при прокаливании, т.е. органика, – до 5.5% вес. (табл. 3).

#### **Микроорганизмы гейзерных терм**

Господствующей группой в биоте гейзерных терм являются синезеленые водоросли (Cyanoprocaruota). Например, в термах Долины Гейзеров обычно развиваются Cyanoprocaruota, преимущественно *Mastigocladus laminosus* с его многочисленными морфологическими формами, а также представители родов: *Synechococcus* – *S. lividus*, *S. elongatus*; *Phormidium laminosum*; *Lyngbya* sp.; *Oscillatoria terebriformis*; *Anabaena* sp. (некоторые из них представлены на рис. 1). Замечено, что их представители лучше развиваются в источниках с повышенным содержанием растворенных минеральных веществ, таких как Na, K, Ca и др., имеющих первостепенное значение для жизни организмов. Кроме того, в горячих

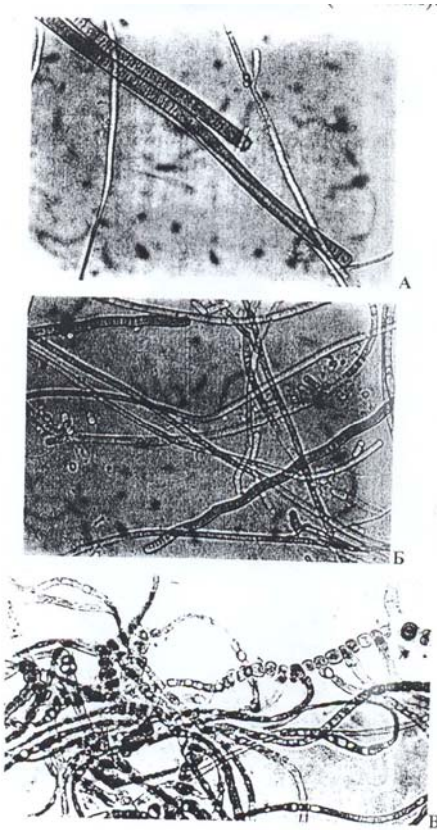


Рис. 1. Некоторые виды цианобактерий Камчатки.

A) *Phormidium ambiguum* (толстые нити, 6 мкм) и *Phormidium laminosum* (тонкие нити, 3 мкм);  
 B) *Mastigocladus laminosus* (3-8 мкм).

источниках обычно наблюдается повышенное, по сравнению с пресноводными, содержание таких элементов как Mn, Mg, Si, Fe, Cu и др. биофильных элементов. Синезеленые водоросли формируют пленки и т.н. маты на дне и по периферии грифонов, ручьев и бассейнов термальной воды. По данным В.Н. Никитиной [6] структурно-текстурные характеристики этих образований обусловлены морфологическими особенностями слагающих их водорослей. Так, нити *Phormidium* и *Lyngbya* имеют слизистые влагалища, помогающие им закрепляться на субстрате в условиях быстротекущих вод и выдерживать резкие колебания температуры и влажности, образуют скопления в виде плотных, студенистых и кожистых пленок. А лишенные слизистых влагалищ трихомы *Oscillatoria*, *Anabaena* и др. наблюдаются в виде рыхлых налетов и скоплений в спокойных водах.

Кроме того, в термах Долина Гейзеров и кальдеры Узон открыты новые группы умеренно и экстремально термофильных архебактерий, играющих большую роль в биогеохимическом цикле углерода и серы. Это, в первую очередь, новый вид *Thermoproteus uzoniensis*, с оптимумом температуры 90°C и pH = 5.6 [8]. Их клетки имеют форму палочек варьирующей длины (1-20 x 0.3-0.4 мкм.), иногда со вздутиями на концах и ветвлением. В клетчатой стенке имеется слой гексагонально упакованных глобул. Здесь обнаружены и описаны также архебактерии с клетками в виде правильных и неправильных кокков диаметром 1-1.5 мкм., принадлежащие к новому виду *Desulfurococcus amylolyticus*. Это облигатный анаэроб с оптимумом температуры 92°C и pH 6.3-6.5 [2]. По-видимому, достаточно большим развитием пользуются здесь хемолитотрофные метанообразующие палочковидные бактерии [1].

### Морфология поверхности, макроструктура и минеральный состав гейзерита

Своеобразны морфологические разности поверхности гейзерита. В случае ровной поверхности стока термальной воды, поверхностная зона гейзерита имеет самые разнообразные конфигурации – чаще всего это мелковолнистые, чешуйчатые образования. В лужицах с периодически застойным режимом воды (у гейзеров с длительным периодом покоя) образуются корочки с сотовидной структурой поверхности. В зоне пароотделения и капельного орошения внешних стенок грифона гейзера часто образуются гейзериты гроздевидного, бутоновидного облика. Чаще же всего поверхность гейзерита имеет микросталагмитовый, папилляр-



ный рельеф (рис. 2). В зонах с большой турбулентностью воды образуются наросты, имеющие сложную конфигурацию (рис. 3). Особый интерес представляют коралловидные гейзериты, а среди них – «жемчужовые» разновидности, с гороховидными, сферическими агрегатами опала белого цвета, с жемчужным блеском (при отсутствии в воде красящих пигментов и глинистых частиц). Таков, например, гейзерит на некоторых участках постройки гейзера Жемчужный в Долине Гейзеров (рис. 4).

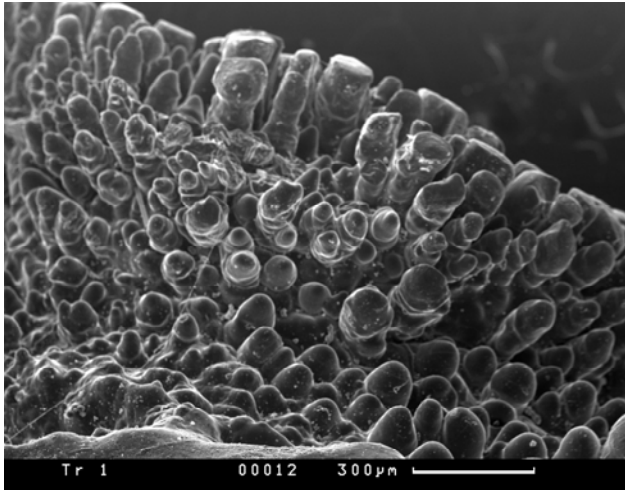


Рис. 2. Папиллярный рельеф поверхности гейзерита, гейзера Тройной.



Рис. 3. Сложная конфигурация поверхности гейзерита, пульсирующий источник «Удачный», Долина Гейзеров.

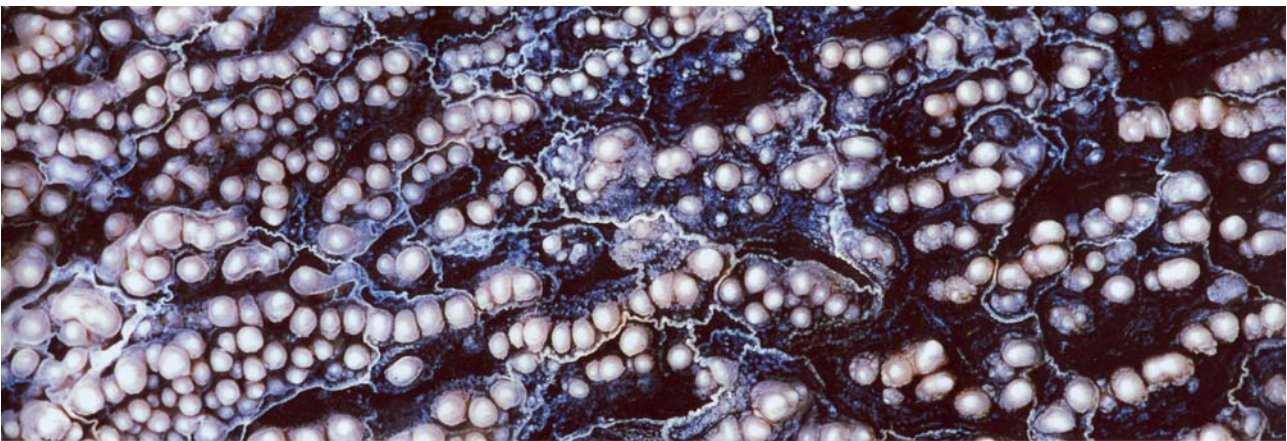


Рис. 4. Сферические агрегаты опала в поверхностной зоне гейзерита. Гейзер Жемчужный. Фото И. Далецкой.

Под световым микроскопом, при сравнительно небольшом увеличении, шлифы гейзеритов демонстрировали однородность состава с ячеистой, слоистой, волокнистой, петельчатой, чешуйчатой, инкрустационной структурами кремниевой массы [5]. В поверхностном слое гейзерита кремниевая масса обычно не раскристаллизована или имеет элементы некоторой упорядоченности структуры, характерные для опала и  $\alpha$ - кристобалита.

## 2. Характеристика биоморфной ультраструктуры вещества гейзерита

Исследования препаратов гейзерита из разных термопроявлений Камчатки под сканирующим микроскопом показали, что все они представляют собой в различной степени фос-

силицированные (окремненные) биоценозы (танатоценозы?) термофильных микроорганизмов. Окремнение в значительной степени затушевывает первичные формы микроорганизмов, но по характерным морфологическим и физиологическим признакам (строение клеток, размеры и др.) можно сказать достаточно определенно, что преобладающим видом фоссилизированных микроорганизмов являются представители нитчатых форм Cyanoprocargota, среди которых более-менее определенно диагностируются *Mastigocladus laminosus*, *Phormidium laminosum* и *Oscillatoria terebriformis* (?). Все многообразие ультраструктур, связанных с микроорганизмами и проявляющихся в гейзеритах, можно условно свести к четырем основным типам: 1. нитчатый (трихомный, от латинского *trachoma* у Cyanophyta); 2. ультраглобулярный (коккоидный); 3. смешанный (коккоидно-трихомный) и 4. волокнисто-ооидный. Доминирующим является первый тип ультраструктур, хотя в поле зрения обычно попадают несколько их типов.

Нитчатые (трихомные) ультраструктуры характерны, прежде всего, для макроскопически слоистых гейзеритов. Причем, для «молодых» верхних зон гейзерита, формирующихся на участках со слабым уклоном и постоянно омываемых ламинарным потоком термальной воды с более-менее постоянной температурой, характерна хорошо выраженная нитчатая (трихомная) ультраструктура, с субпараллельным, плотным расположением нитей-трихомов *Phormidium* (?) – (рис. 5, обр. LG 2, гейзер Великан).

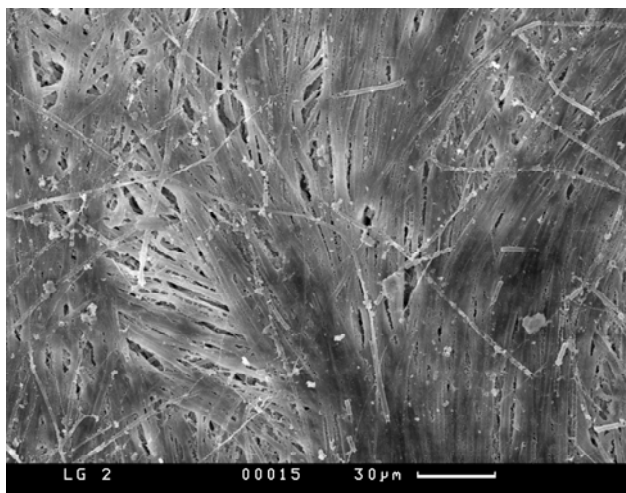


Рис. 5. Нитчатая ультраструктура гейзерита.

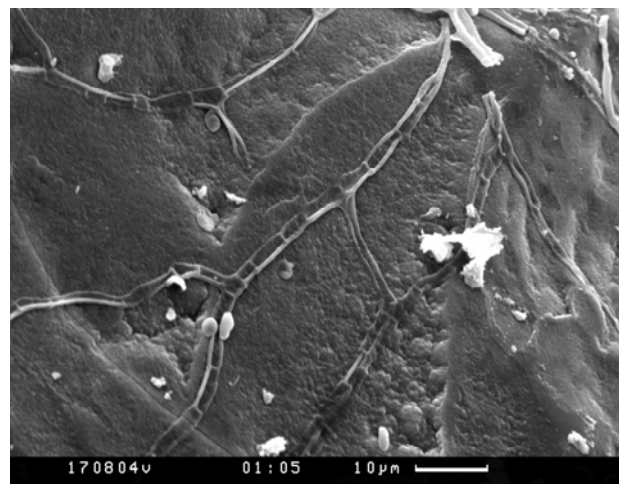


Рис. 6. Фоссилизированные нити *Mastigocladus*.

На субгоризонтальной поверхности с периодическим омыванием термальным раствором развиваются редкие нити *Mastigocladus laminosus* (рис. 6, обр. 170804v, гейзер Водопадный)). Нитчатая (трихомная) ультраструктура с массивной текстурой характерна для участков гейзерита, периодически, но часто орошаемых высокотемпературным (70-80°C) раствором. В этих случаях формируются гейзериты с хорошо различимыми трихомами *Phormidium laminosum*. На рис. 7 (обр. 15/05, пульсирующий источник «Стенка») хорошо видна эта структура на сломе трихома с двумя формами окремнения – массивным и

глобулярным. Глобули диаметром менее 1 мкм развиваются как на внешней, так и на внутренней поверхности трихомов. На процесс прижизненной фоссилизации указывают как хорошо сохранившийся аппарат размножения формидиума – гармогоний («пробка» на конце трихома), так и разная толщина самих трихомов, особенно хорошо наблюдаемая на другом фрагменте того же препарата гейзерита (рис. 8, обр. 15/05). Нередко трихомы нитчатых микроорганизмов не сохраняются и остаются только реплики от них (рис. 9, обр. Карп 2, гейзер Тройной).

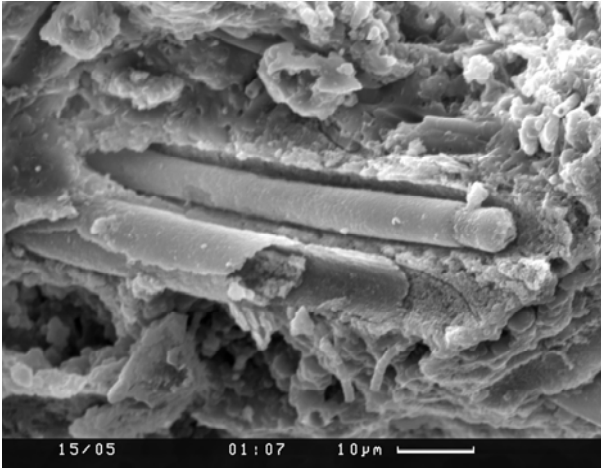


Рис. 7. Фоссилизированные трихомы *Phormidium laminosus*.

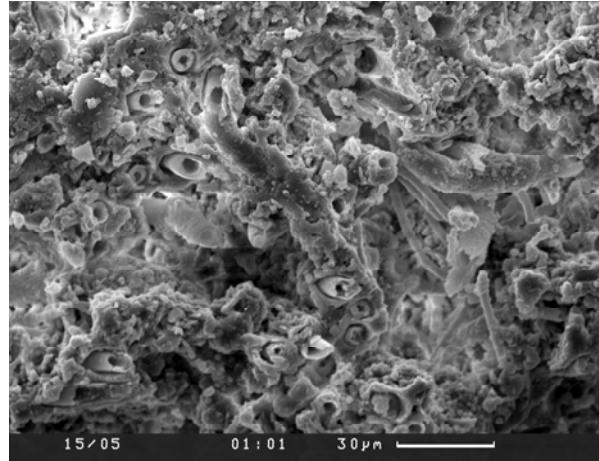


Рис. 8. Фоссилизированные микроорганизмы.

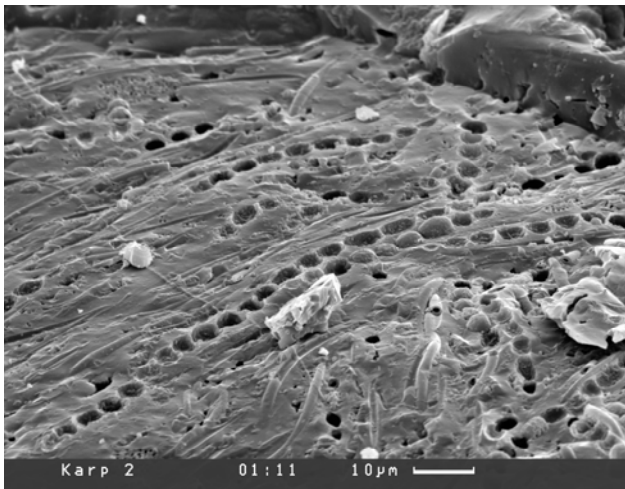


Рис. 9. Продольный слом трихомов. Видны поперечные перегородки клетки *Cyanoprocarysta*.

Ультраглобулярный (коккоидный) тип строения в чистом виде встречается очень редко. Например, нами он обнаружен неоднократно в гейзерите на пульсирующем источнике Удачный в Долине Гейзеров (рис. 10). Чаще всего фрагменты этой структуры встречаются на поверхности самих чехлов – трихомов и в их окружении (рис. 11, обр. 15/05, пульсирующий источник «Стенка»).

В том же источнике «Удачный» встретился гейзерит, фрагмент ультраглобулярной ультраструктуры которого показан на рис. 12. Здесь единичные, причем овальной формы гранулы (кокки?), и их сростки развиваются по опаловой массе колломорфной структуры.

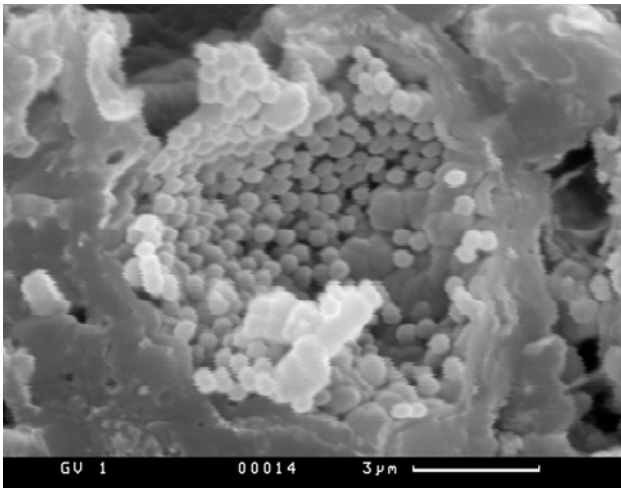


Рис. 10. Ультраглобулярный (коккоидный) тип ультраструктуры.

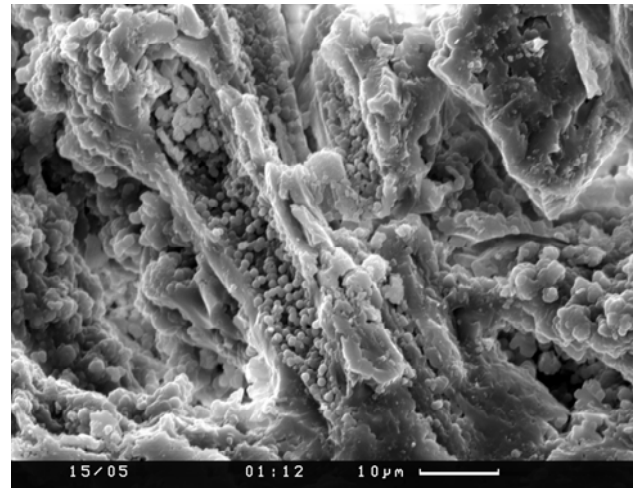


Рис. 11. Ультрамелкие гранулы (цианофицией (?)) в полости трихомов *Cyanoprocarota*.

Смешанный (коккоидно-трихомный) тип ультраструктур в гейзеритах встречается наиболее часто и развивается по нашим данным на участках с турбулентным движением термальной воды – перед мелкими преградами (камни), в кавернах. Здесь также часто встречаются гейзериты со смешанными ультраструктурами, в которых полости чехлов (трихомов) сильно деформированы. Нам удалось обнаружить также фрагмент смешанной ультраструктуры, где зафиксирован процесс хемогенного осаждения кремния (опала) на слизистых (полисахаридных) чехлах цианобактерий. Видно, что глобулы опала нарастают на отмерших фрагментах трихома (рис. 13). Танатоценозы фоссилизируются полностью вплоть до образования массивной текстуры (нижний сектор рис. 13).

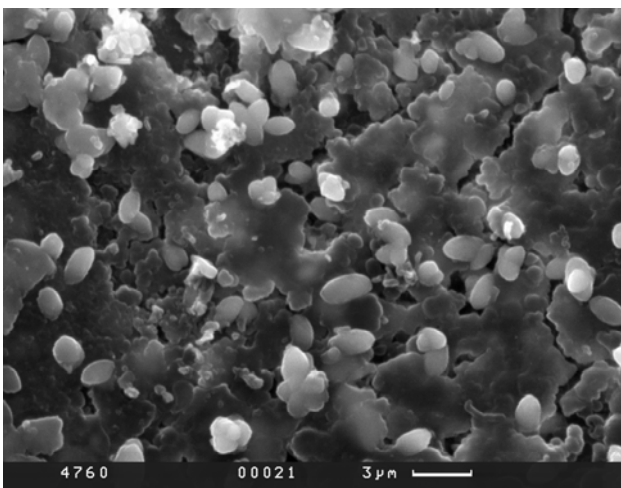


Рис. 12. Ультраглобулярная ультраструктура гейзерита.

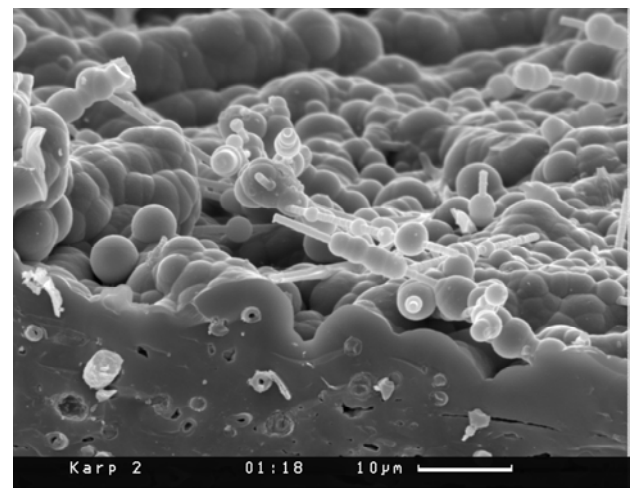


Рис. 13. Фоссилизированные трихомы *Cyanoprocarota*.

В папиллярных (сосульковидных или сталагмитоподобных) образованиях гейзеритов, обычно развитых на поверхности гейзеритовых построек, также наблюдается смешанная трихомно-коккоидная ультраструктура, причем краевая зона таких «сосулечек» оконтурена колломорфной массой опала, которая всегда фрагментарно обрамляет своеобразные «снопы»



колоний нитчатых микроорганизмов и по всей массе гейзерита (рис. 14, обр. GV 1, гейзер Удачный).

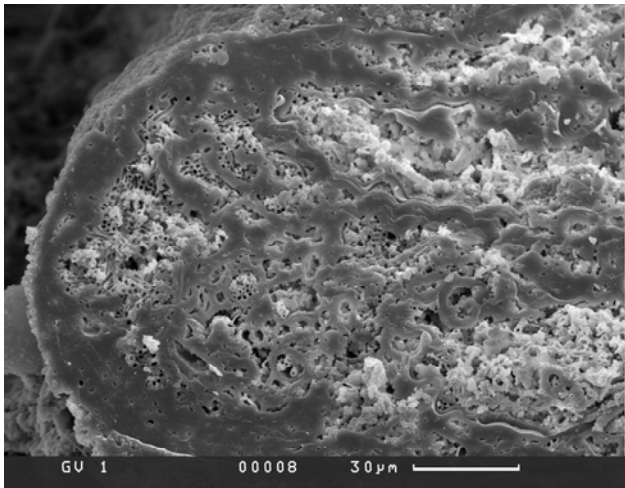


Рис. 14. Смешанная трихомно-коккоидная ультраструктура веществ в папиллярных образованиях гейзерита.

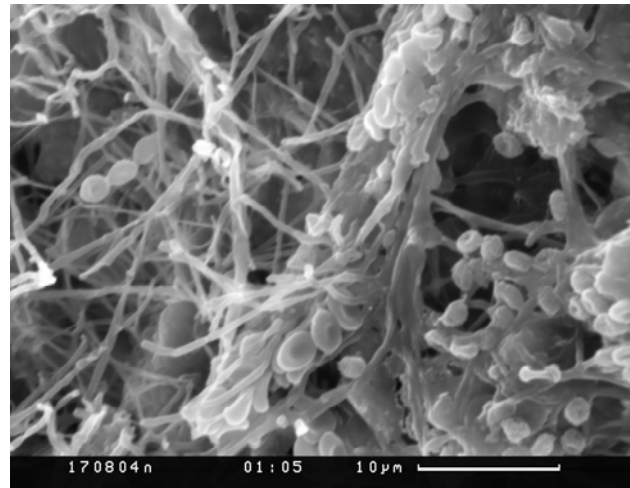


Рис.15. Волокнисто-ооидный тип ультраструктуры гейзерита. Гейзер Водопадный (Долина Гейзеров).

Очень своеобразным и редким является волокнуто-ооидный тип ультраструктур гейзеритов. Он встречается в гейзеритах, образующихся на гейзерах или пульсирующих источниках со слабой активностью, когда поверхность постройки гейзерита периодически и часто обсыхает. Как видно из рис. 15, иллюстрирующего этот тип ультраструктуры, фоссилизации подверглись нитчатые и округлые (типа мятых мячиков) формы микроорганизмов. Есть предположение, что ооиды – это грибы.

### Обсуждение результатов исследований

Приведенный выше материал, по нашему мнению, однозначно свидетельствует об участии термофильных микроорганизмов в формировании гейзеритовых построек. Плохая сохранность биоценозов в большинстве случаев, к сожалению, не позволяет точно диагностировать их родовую принадлежность. Но можно достаточно определенно говорить о широком развитии в гейзеритах нитчатых форм *Sуаноргосаруота*. Анализ облика опализированных ультраструктур с разными диаметрами трихомов и характеристика микрондовых спектров элементов по отдельным фрагментам гейзеритов показывают, что Si избирательно замещает элементы ткани трихомов, по-видимому Fe, P уже в их постмортальном состоянии. Но термофильные микроорганизмы сами избирают этот локальный биотоп с экстремальными параметрами и длительное время сохраняют способность к жизнедеятельности в свежем опаловом субстрате. Вполне определенно можно констатировать, что внутренние объемы в опализированных трихомах не соответствуют прижизненным размерам. Они часто деформированы и уменьшены уже в постмортальном состоянии (также и за счет кристаллизации вещества). Несомненно, термофильные микроорганизмы играют большую роль в создании биогеохимических барьеров. Так, их прижизненное подщелачивание среды обитания препят-

ствует выпадению кремнекислоты из растворов. Но, в свою очередь, окисление клетчатки отмерших анаэробов аэробными бактериями, приводит к подкислению среды и способствует опализации. На это указывает, в частности, обычно наблюдающееся в гейзеритах развитие колломорфных (часто хемогенных) структур вокруг тафоценозов. Морфологические особенности кремниевых образований, их соотношение с биотой свидетельствуют о возможном росте микроорганизмов в массе геля кремнекислоты одновременно с формированием вещества гейзерита. Часто наблюдается конвергенция форм. Одинаковые по форме, размеру и конечному составу (опал) глобулы могут интерпретироваться и как стадии развития (кокки микроорганизмов), и как метаколлоиды.

Хорошая сохранность тончайших деталей строения fossilized микроорганизмов (вплоть до клеток) указывает на довольно большую скорость их замещения опалом непосредственно на месте их жизнедеятельности, без механического перемещения. Слоистые микроструктуры гейзеритов в вертикальном разрезе их построек свидетельствуют о периодическом (субаэральном) режиме поступления кремнесодержащего раствора, а отсутствие признаков разрушения биоморфных ультраструктур характеризует большую жизнестойкость термофильных микроорганизмов в этом экотопе.

Кондратьевой Н.В. для удобства различения прокариотических водорослей под световым микроскопом предлагаются следующие их основные типы [4]:

1. Клетки одноклеточных индивидов и одноклеточные цианоиды.
2. Клетки гомоцитных трихомальных индивидов.
3. Вегетативные клетки гетероцитных трихомальных индивидов.
4. Особые клетки – гетероцисты, эндоспоры и др.

Однако, при исследовании тафоценозов перечисленные типы однозначно выделены большей частью быть не могут из-за статичного положения индивидов. В этой связи нами предложены вышеназванные типы fossilized ультраструктур цианоидов и сопряженных с ними гейзеритов. Авторы вполне понимают, что коккоидный тип может соответствовать как fossilized одноклеточным цианоидам из класса хроококковых, так и одноклеточным стадиям развития гормогониевых и акинетам.

#### **Основные выводы**

1. На субаэральной стадии развития формирование субстрата гейзеритов происходит с непрерывным участием колоний термофильных микроорганизмов, преимущественно нитчатых форм *Synaprocaryota*.
2. Биоморфные ультраструктуры – характерная особенность гейзеритов.
3. Образование гейзеритов – это конседиментационный процесс развития термофильной микробиоты и опализации. В связи с этим, гейзериты – как существенно кремниевые породы, сформированные по биогенной матрице, следует считать «биосилицитами»

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов: РФФИ 05-05-64789а, Программы Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» и CRDF RUB 2-10618 (LBNL).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бонч-Осмоловская Е.А., Карпов Г.А. Бактериальное образование метана в гидротермах кальдеры Узон (Камчатка) // Микробиология. 1987. Т. 57. С. 516-518.
2. Бонч-Осмоловская Е.А. Восстановление элементной серы в микробных сообществах гидротерм // Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук в форме научного доклада. М. 1994. 61 с.
3. Герасименко Л.М., Крылов И.Н. Посмертные изменения цианобактерий в водорослево-бактериальных пленках термальных источников Камчатки // Докл. АН СССР. 1983. Т. 272. № 1. С. 201-203.
4. Кондратьева Н.В. Флора водорослей континентальных водоемов Украины. Прокариотические водоросли. Киев. 1995. Вып. 1. Часть 1. 236 с.
5. Набоко С.И. Гейзеры Камчатки // Тр. лаб. вулканол. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1954. Вып. 8. С. 126-209.
6. Никитина В.Н. Синезеленые водоросли термальных месторождений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Санкт-Петербург. 2000. 43 с.
7. Самойлов Я.В. Биолиты. Л.: Научн.-хим.-техн. изд-во. 1929. 140 с.
8. Устинова Т.И. Камчатские гейзеры. М.: Гос. изд-во географ. литературы. 1955. 120 с.
9. Bonch-Osmolovskaya E.A., Miroshnichenko M.L., Kostrikina N.A., Chernych N.A., Zavarzin G.A. *Thermoproteus uzoniensis* sp. nov., a new extremely thermophilic archaeobacterium from Kamchatka continental hot springs. Arch. Microbiol., 1991, v. 154, p. 556-559.
10. Fournier R.O., Christiansen R.L. a. al. Yellowstone National Park Field Trip (volcanic, Hydrothermal and Glacial Activity in the Yellowstone Region) // 7 th International Symposium on Water-Rock Interaction. Park City. Utah, USA, July, 1992. 39 p.
11. Renant Robin W., Jones Brian, Rosen Michael R. Primary Silica oncoids from Oraneikorako Hot Springs, North Island, New Zealand // Polaios. 1966. V. 11. № 5. P. 446-458.