

УДК 502.72+582.28  
DOI: 10.18101/2587-7143-2018-3-34-41

### **РОЛЬ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИИ В ГОРЯЧЕМ ИСТОЧНИКЕ АЛЛА (БУРЯТИЯ)**

**З. Д. Иванова, Д. Д. Цыренова, Д. Д. Бархутова**

© **Иванова Зинаида Дмитриевна**  
магистрант, Бурятский государственный университет  
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
E-mail: zinaida\_gold18@mail.ru

© **Цыренова Дулма Доржиевна**  
кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
E-mail: baldanovad@rambler.ru

© **Бархутова Дарима Дондоковна**  
кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
E-mail: darima\_bar@mail.ru

В работе представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению минералообразования в накопительных культурах цианобактерий, выделенных из цианобактериальных матов горячего источника Алла. Накопительные культуры были представлены родами *Anabaena*, *Calothrix*, *Phormidium* и *Gloeocapsa*. При помощи электронного сканирующего микроскопа в накопительных культурах обнаружено образование таких минералов как пирит, кремнезем и кальцит. Выявлено, что на отложение минералов влияет содержание карбоната кальция и сульфата натрия в среде, а также щелочная среда и снижение окислительно-восстановительный потенциала.

**Ключевые слова:** цианобактерии; минералообразование; горячий источник Алла; электронный сканирующий микроскоп; отложение пирита; кремнезема; кальцита.

Известно, что микроорганизмы, в том числе и цианобактерии, проявляют себя деятельными геохимическими и геологическими агентами (Роль ..., 2010). Они участвуют в процессах осаждения минералов либо непосредственно, либо косвенным путем, предоставляя твердые поверхности для гетерогенной нуклеации. Исследование отложения минералов в микробных матах гидротерм Алла и Гарга показало, что в термофильных цианобактериальных матах наблюдается отложение кремнезема и кальцита (Лазарева и др., 2010). Осаждение карбонатов может быть обусловлено притоком минерализованных вод, содержащих  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ , и с появлением локальных зон с высоким рН в результате деятельности цианобактериального сообщества.

Целью настоящей работы являлось изучение процесса минералообразования в накопительных культурах цианобактерий.

### Объект и методы исследования

Выходы горячего источника Алла расположены по берегам р. Алла в районе ее выхода из Баргузинского хребта (Бурятия). Воды источника относятся к гидрокарбонатно-сульфатному натриевому типу (Лазарева и др., 2010). В теплых ручьях по изливу при температуре 41,1-45,4°C и pH равной 7,44-10,1, были отобраны 5 цианобактериальных матов для получения накопительных культур цианобактерий.

Для выделения цианобактерий была использована среда Z8, состоящая из смеси (по 10 мл на 1 воды) трех растворов следующего состава:

Раствор 1:  $\text{NaNO}_3$  — 46,7;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  — 5,9;  $\text{MgSO}_4$  — 2,5 г/л;

Раствор 2:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 3,1,  $\text{NaCO}_3$  — 2,1(г/л);

Раствор 3: 10 мл раствор железа растворяли в 900 мл дистиллированной воды, добавляли 9,5 мл раствора EDTA и доводили до 1 л. Для приготовления раствора железа брали 2,8 г  $\text{FeCl}_3$  растворяли в 100 мл 0,1 N раствора HCl; для раствора EDTA брали 3,9 г EDTA- $\text{Na}_2$  растворяли в 100 мл 0,1 раствора NaOH.

Для проведения лабораторного эксперимента по изучению отложения минералов в накопительных культурах цианобактерий использовали модифицированную среду Z8 (г/л), в которой варьировалась концентрация  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{CaCl}_2$  (табл. 1).

По 1 см<sup>3</sup> накопительной культуры цианобактерий вносили в колбу с 20 мл среды с различным содержанием солей Ca и Mg. Культивирование проводили под освещением при комнатной температуре (25°C) в течение 8 суток. В качестве контроля использовали среду без добавления солей Ca и Mg. В течение эксперимента обновляли культивируемую среду ежедневно следующим образом: сливали по 10 мл среды из каждого эксперимента и добавляли 10 мл свежей среды. В ходе эксперимента определяли значения pH и Eh.

Таблица 1

Содержание солей кальция и магния в модифицированной среде Z8

№ эксперимента	$\text{MgSO}_4$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{CaCl}_2$ , мг/дм <sup>3</sup>
1	2	5
2	3	10
3	4	20
4	10	50
5	-	-

Изучение качественного состава минеральных фаз проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа SEM TM-1000 (Hitachi, Япония) с системой микроанализа. Видовую принадлежность цианобактерий определяли по отечественным определителям (Еленкин, 1949; Голлербах, 1953) и уточняли по Комареку и Анагностидису (1999, 2007).

### Результаты

**Минералы в накопительных культурах цианобактерий.** Из цианобактериальных матов, развивающихся при температуре 36,5- 45,4°C в горячем источнике Алла были выделены накопительные культуры цианобактерий. Микроскопирование показало доминирование следующих видов: *Anabaena* sp., *Calothrix* sp., *Phormidium* sp., *Gloeocapsa* sp. (рис. 1, 2).

При помощи электронного сканирующего микроскопа в накопительных культурах цианобактерий из микробных матов с разных станций горячего источника Алла было обнаружено образование следующих минералов: пирита кубической формы, кремнезема, фосфатов кальция с небольшими примесями Mg и K.

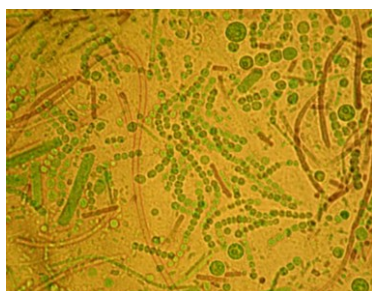


Рис. 1

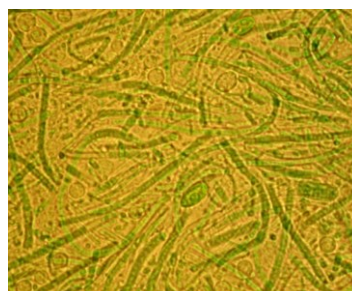


Рис. 2

Рис. 1, 2. Фото накопительных культур цианобактерий (станции 1, 4, соответственно)

**Пирит ( $\text{FeS}_2$ ).** В накопительных культурах со станции 2 (45,4°C, pH 9,6) и 4 (36,5°C, pH 10,1) было обнаружено отложение кубического пирита. Также среди микробных сообществ обнаружено накопление сферолитов пирита, размер которых не более 5 мкм в поперечнике (рис. 3 А, В).

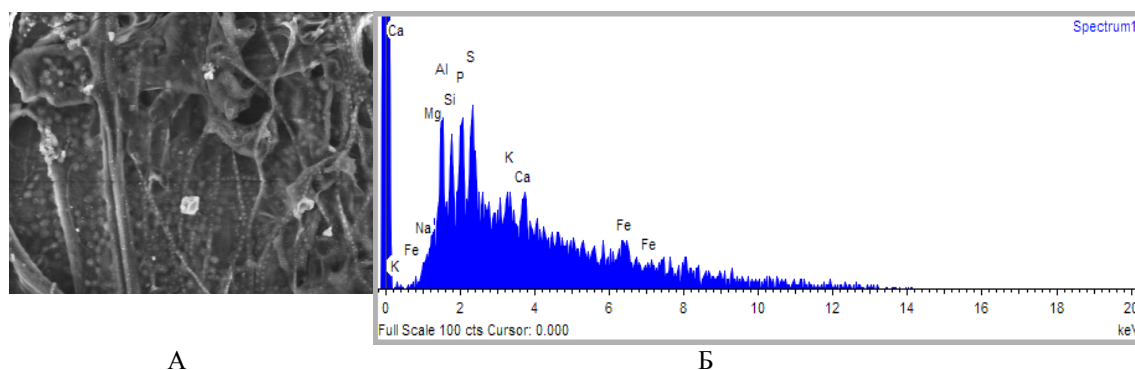


Рис. 3

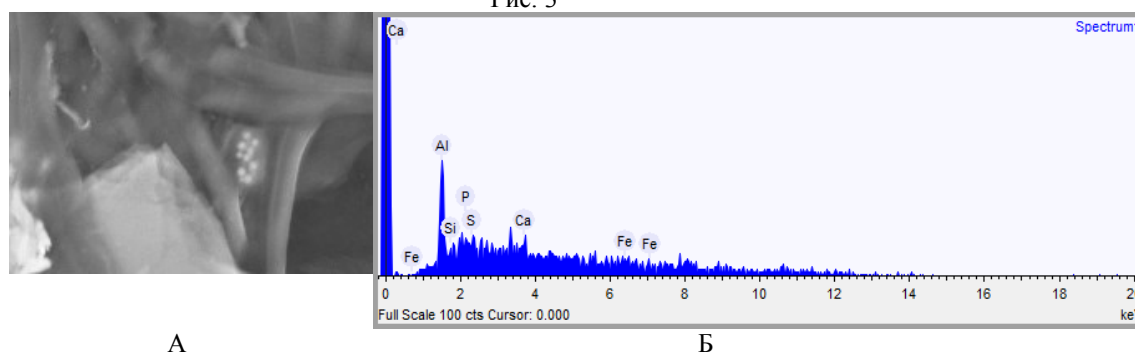


Рис. 4

Рис. 3, 4. Фото (сканирующий микроскоп): А — отложение кристаллов пирита в микробном сообществе ист. Алла (станции 2, 4); Б — его элементный состав

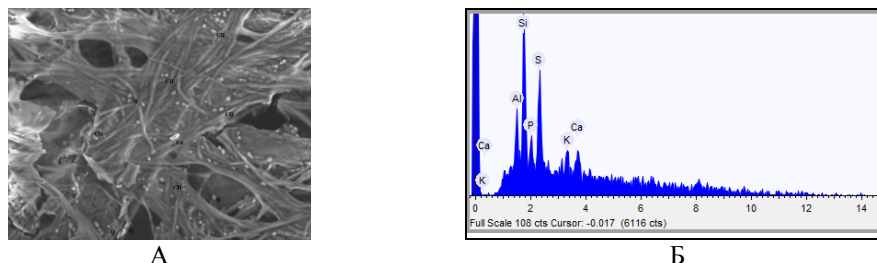


Рис. 5. Фото (сканирующий микроскоп): А — отложение кристаллов кремнезема (Q) и сферолита пирита (СП); Са — элементный состав кальция; Б — его элементный состав.

**Кремнезем ( $\text{SiO}_2$ )** обнаружен на станции 1 на поверхности цианобактерий в виде однородной ровной пленки (отечности).

#### Минералы накопительных культур цианобактерий в лабораторном эксперименте

В эксперименте № 1 ( $[\text{Ca}^{2+}] = 5 \text{ мг/дм}^3$ ,  $[\text{Mg}^{2+}] = 2 \text{ мг/дм}^3$ ) наблюдалось отложение большого количества фосфатов кальция с небольшими примесями калия в виде белых хлопьевидных выделений (рис. 6), что, по-видимому, обусловлено низкой концентрацией карбоната кальция.

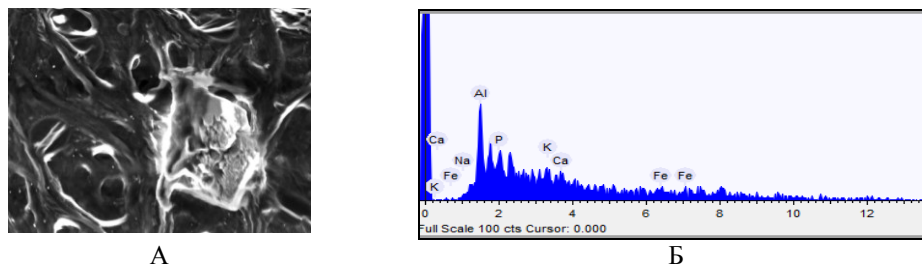


Рис. 6. Фото (сканирующий микроскоп): А — отложение  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , Б — его элементный состав

**Эксперимент № 2** ( $[\text{Ca}^{2+}] = 10 \text{ мг/дм}^3$ ,  $[\text{Mg}^{2+}] = 3 \text{ мг/дм}^3$ ). В данном сообществе также отлагается фосфат кальция, но уже в меньших количествах (рис. 7). Обнаружены кристаллы оксида железа, также наблюдается отложение пирита в виде микроскопических выделений неправильной формы и кремнезема.

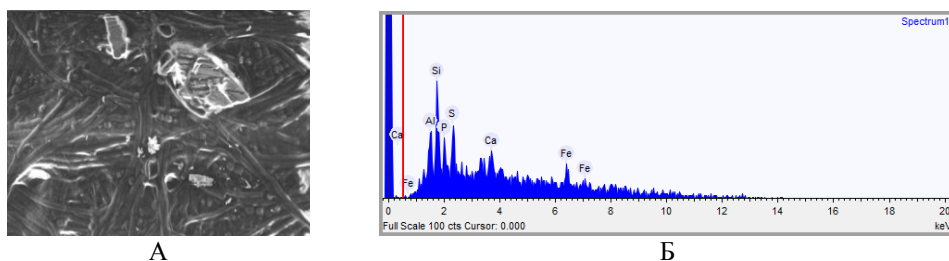


Рис. 7. Фото (сканирующий микроскоп): А — отложение  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , кристаллы оксида железа и пирита; Б — его элементный состав

Эксперимент № 3 ( $[Ca^{2+}] = 20 \text{ мг/дм}^3$ ,  $[Mg^{2+}] = 4 \text{ мг/дм}^3$ ). Идет значительное накопление карбонатов кальция (кальцит) и магния. Содержание других элементов остается неизменным.

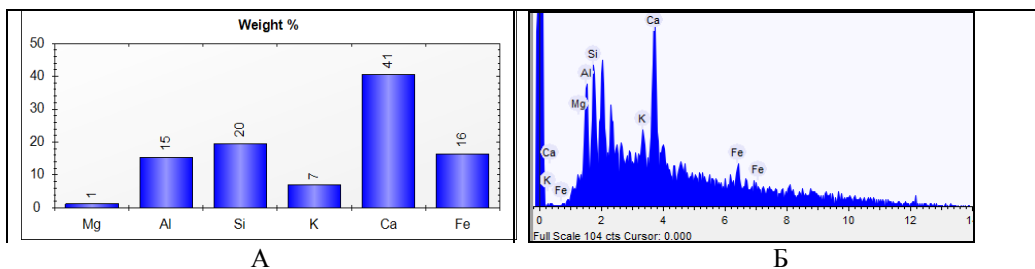


Рис. 8. Фото (сканирующий микроскоп): А — процентное соотношение отложений кристаллов кальция и магния в микробном сообществе ист. Алла; Б — его элементный состав

Эксперимент № 4 ( $[Ca^{2+}] = 50 \text{ мг/дм}^3$ ,  $[Mg^{2+}] = 10 \text{ мг/дм}^3$ ). При максимальной концентрации кальция в среде наблюдается отложение карбоната кальция (кальцит) и магния в достаточном количестве. Отложение других минералов практически не наблюдалось.

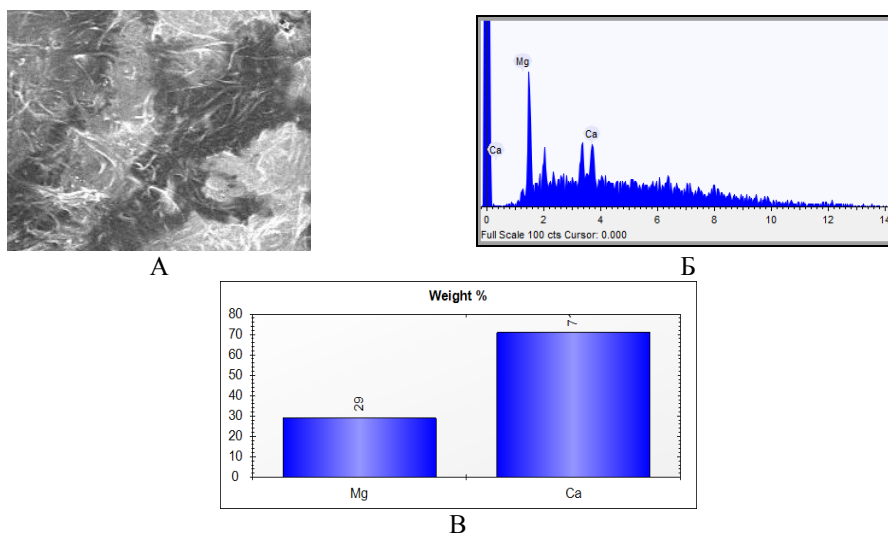


Рис. 9. Фото (сканирующий микроскоп): А — отложение кристаллов кальция и магния. Б — его элементный состав. В (%) — состав присутствующих элементов

Эксперимент № 5 (без содержания в среде солей Са и Mg). В данном эксперименте наблюдается отложение калия в виде микроскопических скоплений неопределенной формы из состава среды.

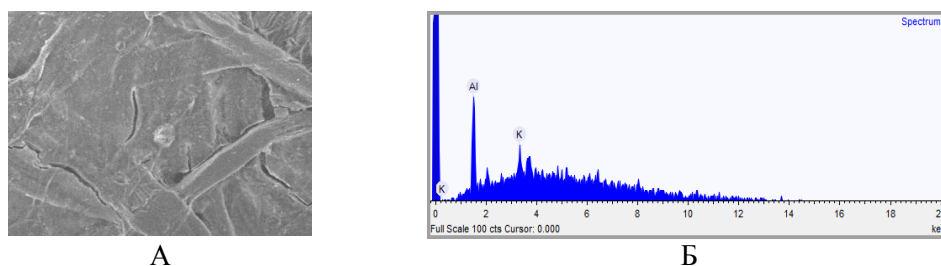


Рис. 10. Фото (сканирующий микроскоп): А — отложение кристаллов калия в лабораторном сообществе; Б — его элементный состав

На рисунке 11 показаны результаты ежедневных измерений значений pH и Eh в ходе эксперимента. Стоит отметить, что начальное значение pH во всех 5 экспериментах было одинаковым — 8,5. Рост значений pH наблюдается на 5 сутки и достигает максимальных значений на 7 сутки (до 9,5), кроме контроля и эксперимента № 1, где не наблюдалось образования кальцита.

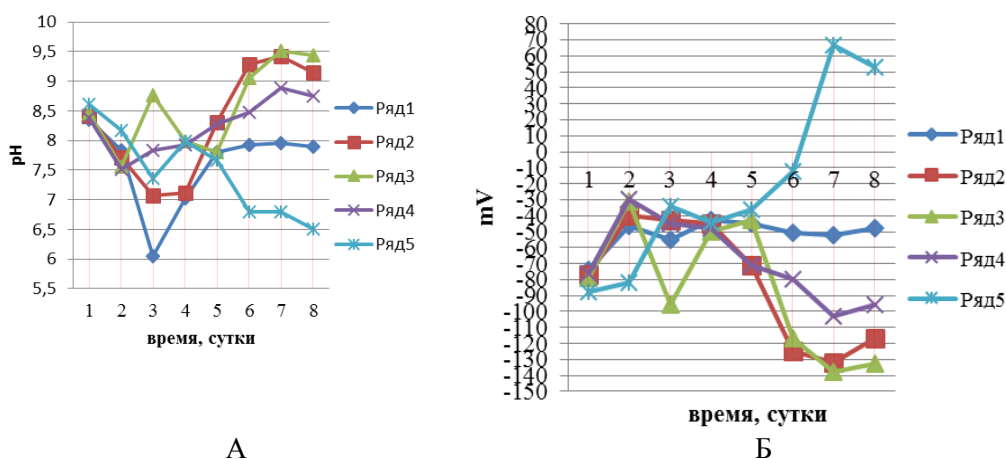


Рис 11. Кривые роста лабораторного сообщества при различных значениях pH (А) и Eh (Б). Значения 1-5 — нумерация образцов (экспериментов)

При этом идет интенсивный рост цианобактериального сообщества, фаза отмирания которого наступает на 8 сутки. Отмечено понижение значений окислительно-восстановительного потенциала, максимум которого приходится также на 7 сутки (Eh -140 мВ).

### Выводы

В ходе лабораторного эксперимента показано, что цианобактериальное сообщество, состоящее из представителей родов *Anabaena*, *Calothrix*, *Phormidium* и *Gloeocapsa*, участвует в образовании таких минералов как пирит, кремнезем и кальцит.

На образование кальцита влияет концентрация карбоната кальция. Наиболее интенсивно кальцит образуется при содержании карбоната кальция в среде более

20 мг/л. Также наиболее интенсивному минералообразованию способствует щелочная среда и снижение окислительно-восстановительный потенциала.

*Работа выполнена в рамках темы Госзадания № госрегистрации АААА-А17-117011810034-9.*

#### **Литература**

1. Роль микроорганизмов в функционировании живых систем: фундаментальные проблемы в биоинженерные приложения / [И. С. Андреева]; под ред. В. В. Власова, А. Г. Дегерменджи, Н. А. Колчапова, В. Н. Пармона, В. Е. Репина. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 476 с. (Интеграционные проекты СО РАН, вып. 28)
2. Лазарева Е. В., Брянская А. В., Жмодик С. М., Смирнов С. З., Пестунова О. П., Бархутова Д. Д., Полякова Е. В. Минералообразование в цианобактериальных матах щелочных гидротерм Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны // Доклады Академии Наук. 2010. Т. 430. № 5. С. 675–680.
3. Еленкин А. А. Синезеленые водоросли СССР. Специальная часть. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Вып.2. С. 990.
4. Голлербах М. М., Косинская Е. К., Полянский В. И. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1953. Вып. 2. 398 с.
5. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokariota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa / Herausgegeben von Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm; G.Fischer, 1999. Bd. 19/1. 548 p. 10.
6. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokariota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa / Herausgegeben von B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl, 2007. Bd. 19/2. 759 p.

#### **MINERAL FORMATION (MINERALIZATION) IN CYANOBACTERIAL COMMUNITY SPRING ALLA**

**Z. D. Ivanova, D. D. Tsyrenova, D. D. Barkhutova**

**Ivanova Zinaida Dmitrievna**

master, Buryat State University  
24a, Smolin Str., Ulan-Ude, 670000, Russia  
E-mail: zinaida\_gold18@mail.ru

**Dulma D. Tsyrenova**

Cand. Sci. (Biol.), Senior researcher,  
Institute of General and Experimental Biology SB RAS  
6, Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia  
E-mail: baldanovad@rambler.ru

**Darima D. Barkhutova**

Cand. Sci. (Biol.), Head of laboratory of microbiology  
Institute of General and Experimental Biology SB RAS  
6, Sakhyanovoy St., Ulan-Ude, 670047, Russia  
E-mail: darima\_bar@mail.ru

In the present work the results of a laboratory experiment on the study of mineral formation in accumulation cultures of cyanobacteria isolated from cyanobacterial mats of the hot spring Alla are presented. Cultures were represented by the genera *Anabaena*, *Calothrix*,

*З. Д. Иванова, Д. Д. Цыренова, Д. Д. Бархутова. Роль цианобактерий в минералообразовании в горячем источнике Алла (Бурятия)*

---

Phormidium and Gloeocapsa. Using a scanning electron microscope in cultures the minerals pyrite, silica and calcite were revealed. Depositions of minerals were impacted by the content of calcium carbonate and sodium sulfate in the medium, the alkaline pH and reducing the redox potential.

**Keywords:** cyanobacteria; mineral formation; hot spring Alla; electron scanning microscope; deposition of pyrite; silica; calcite.