



УДК 579.81.017.73 (571.54)

## **Геохимическая активность микробных сообществ термальных источников Монголии**

Д. Д. Бархутова ([darima\\_bar@mail.ru](mailto:darima_bar@mail.ru)),  
Д. Д. Цыренова ([baldanovaD@rambler.ru](mailto:baldanovaD@rambler.ru)),  
Б. Б. Намсараев ([bair\\_n@mail.ru](mailto:bair_n@mail.ru)),  
Даваасурен Тумэнжаргал ([tumenjargal@biology.num.edu.mn](mailto:tumenjargal@biology.num.edu.mn))

**Аннотация.** В гидротермах Центральной Монголии изучены физико-химические показатели воды и донных отложений, определена скорость микробных процессов продукции и деструкции. Температура термальных вод достигает 45–90 °С, pH 8,5–10,4, содержание сероводорода составляет 0,5–15,0 мг/дм<sup>3</sup>. Микроорганизмы формируют кооперативное алкалотермофильное сообщество, эффективно осуществляющее процессы продукции и деструкции органического вещества, трансформацию вулканогенных флюидов и синтез биогенных минералов при высоких температурах и щелочных pH в различных типах гидротерм.

**Ключевые слова:** термальные источники, микробные сообщества, биогеохимические процессы.

### **Введение**

Термальные источники распространены в районах с активной вулканической деятельностью. Высокие температуры, поступления газов и биогенов с глубинными водами и освещение способствуют формированию микробных сообществ, участвующих в геохимических процессах в гидротермах [4; 13]. При участии микроорганизмов идут процессы продукции и деструкции органического вещества, синтеза и разрушения минералов, образования и потребления газов, изменения физико-химических параметров среды [7]. В районах выходов термальных вод и горячих ручьях наблюдается формирование микробных матов [14].

Термальные источники Монголии в основном встречаются в вулканически активных районах горных систем, относящихся к Байкальской рифтовой зоне [2; 9]. В этих гидротермах выявлены разнообразные типы микробных матов [10]. Целью данной работы является изучение условий формирования, видовой структуры и геохимической активности микробных матов.

## Объекты и методы исследования

Отбор проб и полевые исследования были проведены в гидротермах горной системы Хангай в Центральной Монголии в 2002–2010 гг. В местах отбора проб определяли температуру, рН, общую минерализацию, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), а также введение радиоизотопов и фиксацию проб для определения хлорофилла, видового состава цианобактерий [11].

Катионно-анионный состав воды определяли общепринятыми титриметрическими методами, сульфиды – калориметрическим методом [8]. Содержание органического углерода микробных матов исследовали по методу Тюрина в модификации Никитина. Белки определяли по реакции с ку-масы синим. Углеводы определяли по реакции с дифениламином и соляной кислотой. Для определения содержания зольных элементов микробные маты сжигают в печи при температуре 550 °С до постоянной массы и определяют по стандартному методу [1].

Микроскопирование цианобактерий проводили с помощью микроскопа Аxiostar plus (Carl Zeiss, Германия). Определение таксономической принадлежности цианобактерий на основании морфологических признаков проводили по стандартным определителям [3; 6]. Определение хлорофилла *a* проводили по стандартной методике [12]. Численность микроорганизмов-деструкторов различных физиологических групп определяли на минеральной среде Пфеннига, используя пептон, крахмал, глюкозу в качестве субстратов роста. Скорости общего и аноксигенного фотосинтеза, темновой фиксации CO<sub>2</sub> определяли радиоизотопным методом [8].

## Результаты

По химическому составу воды гидротермы относятся к гидрокарбонатно-сульфатно-натриевым типам. Температура в этих источниках достигает 49,1–90,0 °С. Наибольшие значения температуры выявлены в гидротермах Шаргалжуут (90 °С) и Цэнхэр (84 °С). Все источники относятся к щелочным, значения рН в них равны 8,0–10,6 (табл. 1). Максимальные значения рН, равные 10,6, измерены в источнике Шиверт. Общая минерализация равна 0,23–0,5 г/дм<sup>3</sup>. В гидротермах Монголии физико-химические показатели способствуют формированию термофильных микробных сообществ, способных функционировать в экстремальных условиях среды обитания – при высоких температурах и высоких значениях рН.

Таблица 1

Местоположение и физико-химические условия в гидротермах Монголии

Гидротерма	Местоположение, координаты, высота над у. м.	<i>t</i> , °С	рН	М, г/л	H <sub>2</sub> S, мг/дм <sup>3</sup>	Формула химического состава
Цэнхэр	Хангай, 47°18'999" с. ш. 101°39'112" в. д., 1790 м	83,7	9,8	0,26	10	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na

Окончание табл. 1

Хужирт	Хангай 46°54'142" с. ш. 102°46'147" в. д., 1651 м	49,1	9,2	0,5	0,74	HCO <sub>3</sub> -CO <sub>3</sub> -Na
Хурамт	Хангай 46°16'433" с. ш. 102°28'385 в. д., 1954 м	54,7	9,2	0,23		HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na
Шаргалжуут	Хангай 46°20'019" с. ш. 101°13'568" в. д., 2139 м	35–90	8,0–8,6	0,23	15	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na
Шиверт	Хангай 47°05'455" с. ш. 104°31'015" в. д., 1056 м	56	10,3	0,29	11	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na

Развитие циано-бактериальных матов толщиной 0,1–1,5 см наблюдается в районе выходов термальных источников и горячих ручьях при температурах менее 62 °С (табл. 2).

Таблица 2

Источник Цэнхэр (30 августа 2010 г.)

Место	Станция	Проба	T, °С	pH
Выход «Обоо»	Tsen-10-1	Вода	79,7	9,16
Грифон, правый накопитель	Tsen-10-2	Вода из-под каменной плиты (травертина). Темно-серый ил, песок, мелкий гравий	84,3	9,24
Выше левой ванны	Tsen-10-3	Выход из-под травертина, ручей, нет обрастаний, гравий темно-серый	83,0	9,2
То же самое	Tsen-10-4	Белые слизистые космы, серный мат	75,1	9,2
То же самое	Tsen-10-5	Тонкий циано-бактериальный мат	62,0	9,31
Ниже левого накопителя	Tsen-10-6	Темно-зеленый циано-бактериальный мат, толщина 1 см	46,1	9,30
Ниже правого накопителя	Tsen-10-7	Зеленый тонкий циано-бактериальный мат	52,4	9,43
То же самое	Tsen-10-8	Пурпурный мат	51,0	9,40
То же самое	Tsen-10-9	Желтый циано-бактериальный мат	53,3	9,37
То же самое		Эукариотный зеленый мат	25,0	9,67

Показано, что в микробных матах присутствуют продуценты-цианобактерии и аноксигенные фототрофные бактерии (АФБ). В нижних горизонтах микробных матов наблюдается развитие анаэробных деструкторов, в первую очередь сульфатредуцирующих бактерий. Между слоями развития различных видов фототрофов, а также в нижней восстановленной зоне матов отлагаются минералы.

Во всех биологических зонах микробных матов, за редким исключением, доминируют цианобактерии. Основу матов в большинстве случаев составляют нитчатые цианобактерии рода *Phormidium* и *Oscillatoria*, особенностью которых является образование тонких прозрачных для света чехлов (табл. 3). В связи с этим, фотосинтез в циано-бактериальных матах может происходить на большей глубине, чем в случае доминирования других организмов.

Таблица 3

Таксономический спектр цианобактерий минеральных источников  
Монголии

Таксон	Цэнхэр	Шаргалжуут	Шивэрт	Хужирт
<i>Synechococcus elongatus</i>	+			
<i>Calothrix sp.</i>		+		
<i>Gloeocapsa bituminosa</i>				
<i>Gl. magma</i>	+			
<i>Gl. minuta</i>		+		
<i>Gl. punctata</i>		+*		
<i>Anabaena sp.</i>		+		
<i>Mastigocladus laminosus</i>	+*			
<i>Oscillatoria annae</i>				
<i>Os. geminata</i>	+		+	
<i>Os. limosa f. dispersio-granulata</i>			+*	
<i>Os. tenuis</i>	+	+	+	
<i>Os. sp.</i>		+		+
<i>Phormidium ambigium</i>				+*
<i>Ph. frigidum</i>			+	
<i>Ph. laminosum</i>	+		+	+
<i>Ph. orientale</i>		+		
<i>Ph. tenue</i>	+	+*		
<i>Ph. tenuissimum</i>	+*			
<i>Ph. valderiae</i>	+		+*	
<i>Scytonema mirabile</i>		+*		
Всего:	9	9	6	3

\* – доминирующий вид

Всего в исследуемых источниках обнаружено 8 родов и 21 видов цианобактерий. Все отмеченные виды являлись характерными для термальных местообитаний. Максимальное количество видов цианобактерий отмечено в источнике Цэнхэр. Дополнительно к ранее обнаруженным видам, в пробах микробных матов, отобранных в 2010 г., выявлено еще 4 новых вида: *Synechococcus elongatus*, *Gloeocapsa magma*, *Phormidium tenue* и *Ph. valderiae*. Доминирующими видами являлись *Mastigocladus laminosus* и *Ph. tenuissimum*. Реже были распространены виды *S. elongatus*, *Ph. laminosum* и *Os. geminata*, единично – *Gl. magma*. В источнике Цэнхэр большую роль играли устойчивые к широким колебаниям температуры представители родов *Phormidium* и *Mastigocladus*. Поэтому изменения в структуре сообщества по изливу было незначительным.

Основу матов источника Шивэрт составляли цианобактерии *Os. limosa f. disperso-granulata* и *Ph. valderiae*, реже встречались виды *Os. tenuis*, *Os. geminata* и *Ph. laminosum*. Единично – *Ph. frigidum*. По изливу источника Шивэрт наблюдалось закономерное изменение видового состава цианобактерий. С понижением температуры доминирующее положение в сообществе занимали крупноклеточные представители рода *Oscillatoria*.

В источнике Шарагулжуут обнаружено 9 видов цианобактерий. При повышении температуры воды в источнике наблюдается уменьшение количества цианобактерий. Так при 30–40 °С встречаются как нитчатые, так и одноклеточные формы. Доминировали одноклеточная форма *Gloeocapsa punctata* и нитчатая *Scytonema mirabile*. При увеличении температуры на 10 °С исчезают представители родов *Calothrix*, *Anabaena* и *Oscillatoria*. При 50–60 °С одноклеточные цианобактерии не обнаруживаются.

В источнике Хужирт обнаружено наименьшее количество цианобактерий (3 вида), которые представлены нитчатыми формами *Phormidium* и *Oscillatoria*.

Нами было обнаружено, что высокое содержание сульфида в щелочных гидротермах не исключает массового развития цианобактерий. Так, в источнике Шарагулжуут с содержанием сульфида 15 мг/дм<sup>3</sup> доминируют цианобактерии, хотя АФБ могут достигать значительной численности (до 10<sup>6</sup> кл/мл). Пурпурный мат встречается в зоне с активной деятельностью сульфатредукторов, образующих H<sub>2</sub>S.

Серные маты встречаются в высокосульфидных, слабо щелочных участках гидротерм и горячих ручьев. Эти нежные, обычно прикрепленные к растениям и камням космы микробных обрастаний выявлены в теплых ручьях гидротерм Цэнхэр и Шарагулжуут. Структурообразующими видами в серных матах являются бесцветные серобактерии родов *Thiothrix*, *Beggiatoa*, *Thiophisa* и сероокисляющие бактерии рода *Thiobacillus*. Повышение устойчивости гидросульфид-иона при щелочной реакции среды также может быть причиной отсутствия массового развития термофильных серобактерий при температуре около 70 °С.

Главным физико-химическим фактором среды, оказывающим влияние на состав и распространение микробных сообществ в гидротермах, является температура [4; 5; 13]. С уменьшением температуры по изливу исследованных нами источников разнообразие микроорганизмов расширяется.

В гидротермах микробные сообщества кроме высокой температуры подвергаются комбинированному воздействию других экстремальных факторов: высокого рН и, в ряде случаев, высокого содержания сульфида и минерализации [10]. В исследованных гидротермах фототрофные сообщества появляются при более низкой температуре, чем в слабощелочных и нейтральных гидротермах. Для сравнения, в источнике Шаргулжуут с рН 8,6 циано-бактериальный мат начинает развиваться с температуры ниже 64 °С, тогда как в слабощелочном источнике Октопус спринг с 73 °С [13]. При этом наблюдается обратная зависимость между верхним температурным пределом распространения микробного мата и содержанием сульфида в источнике. Чем выше содержание сульфида, тем ниже максимальная температура распространения микробного мата по изливу источника.

Радиоизотопные исследования с использованием <sup>14</sup>C-бикарбоната, показывают, что микробные сообщества наземных гидротерм Монголии отличаются невысокой продуктивностью. Максимальная суммарная продукция фототрофных и хемотрофных бактерий достигает 0,2 гС/(м<sup>2</sup>·сут) (табл. 4).

Таблица 4

Скорость продукционных процессов и содержание хлорофилла *a* в микробных сообществах гидротерм

Источник	Хлорофилл <i>a</i> , мг/м <sup>2</sup>	Оксигенный фотосинтез, гС/(м <sup>2</sup> ·сут)	Аноксигенный фотосинтез, гС/(м <sup>2</sup> ·сут)	Темновая фиксация углекислоты, гС/(м <sup>2</sup> ·сут)	Максимальная суммарная продукция, гС/(м <sup>2</sup> ·сут)
Цэнхэр	5–249	0,0007–0,08	0,001–0,01	0,0007–0,003	0,099
Шиверт	8–162	0,006–0,19	0,006–0,01	0,0007–0,003	0,201

Исследование содержания пигментов в микробных матах *in vivo* показывает, что в них доминирует хлорофилл *a*, что указывает на преобладание цианобактерий в составе мата. Скорость оксигенного фотосинтеза (0,0007–0,19 гС/(м<sup>2</sup>·сут)) было выше аноксигенного (0,001–0,01 гС/(м<sup>2</sup>·сут)), что, вероятно, связано с доминированием оксигенных цианобактерий в составе фототрофного сообщества.

Широкое распространение аэробных термофильных органотрофных бактерий разных физиологических групп отмечено в азотных термах Монголии, которые по физико-химическому составу близки к водам азотных терм Прибайкалья. В данных исследованиях показана роль температурного фактора для развития бактерий различных физиологических групп. При температуре от 20 до 54,5 °С общее количество бактерий было выше, чем при 55–92 °С (табл. 5).

Таблица 5

Максимальная численность аэробных термофильных бактерий, lg кл/мл

Гидротерма	t, °С	pH	Протеолитики	Сахаролитики	Амилолитики	Липолизитики	Целлюлолитики
В донных осадках							
Шаргулжут	59,0–90,0	8,0	5–6	2–4	1–3	1–3	1–2
Цэнхэр	80,3–83,7	9,8	5–6	4	1–2	2–3	1–2
Шивэрт	56,0	10,4	5	4	2	3	2
Хурамт	54,7	9,2	3	3	2	3	2
Хужирт	37,0	10,6	2	2	2	1	3
В микробных матах							
Шаргулжут	52	8,0	4	4	3	3	2
Цэнхэр	36	8,3	2	4	3	1	3
Шивэрт	45	8,3	3	3	3	1	1
Хурамт	35	8,1	4	3	3	2	3
Хужирт	59	8,6	4	5	3	1	1

Доминирующими физиологическими группами как в илах, так и в матах гидротерм были протеолитические бактерии, максимальные численности которых достигали 1 млн кл/мл.

Наибольшее количество аэробных термофильных протеолитических бактерий выявлено в источниках Шаргулжуут и Цэнхэр с температурами 72–90 °С на выходах. Количество бактерий, гидролизующих углеводы, варьировало от 10 до 100 тыс. кл/мл. Практически во всех источниках численность сахаролитических гидролитиков была на порядок выше в микробных матах, чем в донных отложениях. Вероятно, это связано с тем, что большая часть ОБ матов представлена углеводами (9,5–24,77 %).

В микробных матах происходит образование сероводорода за счет сульфатредукции со скоростью 0,001–0,16 гS/(м<sup>2</sup>·сут) (табл. 6). Процессы идут, видимо, за счет доноров электронов, поступающих с водой (H<sub>2</sub>, органическое вещество) и за счет органического вещества, накопленного в отложениях на дне русла горячих ручьев. Максимальная скорость сульфатредукции отмечена в матах гидротермы Шиверт при 65–60 °С. В остальных гидротермах максимальная скорость сульфидогенеза отмечалась при температуре 40–50 °С. Скорость водородного метаногенеза была незначительна. В зоне излива достигает 7190 мкгC/(м<sup>2</sup>·сут).

Таблица 6

Скорость деструкционных процессов в микробных матах гидротерм

Источник	Сульфатредукция, гS/(м <sup>2</sup> ·сут)	Водородный метаногенез, мкгC/(м <sup>2</sup> ·сут)
Шивэрт	0,006–0,16	4013–7190
Шаргулжуут	0,001–0,102	17–1650
Цэнхэр	0,019–0,054	5–1250

Таким образом, в наземных гидротермах Монголии наиболее продуктивными являются сообщества, развивающиеся при температуре 45–50 °С. Следует отметить, что в этой зоне микробные маты источника Цэнхэр обладают наибольшим содержанием хлорофилла *a* из всех исследованных нами источников (249 мг/м<sup>2</sup>). Как следствие, суммарная деструкция с понижением температуры также ускоряется, хотя и не так быстро, как продукция органического вещества.

Доминирующим процессом терминальной деструкции является сульфатредукция, при этом в источнике Шиверт было обнаружено максимальное значение скорости сульфатредукции из всех исследованных источников (до 0,16 гS/(м<sup>2</sup>·сут)). Роль метаногенеза в деструкции органического вещества незначительна (см. табл. 6). Интенсивность процесса достигает значительных величин, что создает условия для активного функционирования микроорганизмов цикла серы в сообществе. Скорости автотрофного метаногенеза невелики (до 7,19 мкгC/(м<sup>2</sup>·сут)). В ходе процесса сульфатредукции расходуется до 0,12 гC/(м<sup>2</sup>·сут), тогда как в ходе процесса метаногенеза лишь до 7,19 мкгC/(м<sup>2</sup>·сут).

В зонах с температурами 35–40 °С и 45–50 °С, где скорости продукционно-деструкционных процессов максимальны, через метаногенез и сульфатредукцию минерализуется до 61 % органического вещества. Большая

часть оставшегося органического вещества микробных матов, очевидно, минерализуется в процессах кислородного дыхания или захоранивается.

Содержание органического вещества в микробных матах составляет 9,5–20,5 % (табл. 7). Максимальное значение измерено в микробных матах источника Цэнхэр. Высокие содержания органического вещества определены в гидротермах с температурой воды 84–90 °С, что показывает зависимость продукции от значений температуры.

Таблица 7

Концентрация органических веществ в микробных матах гидротерм, %

Источник	С орг	Зола	Углеводы	Белок
Хужирт	9,50	89,59	13,0	7,97
Цэнхэр	20,50	81,69	17,0	9,12
Шаргулжуут	18,09	68,72	13,05	5,61
Шиверт	13,50	96,16	13,70	7,36

Концентрация углеводов в микробных матах составляет 13,0–17,0 %, белка – от 5,61 до 9,12 %. Наибольшие значения этих параметров определены в источнике Цэнхэр. Зольность матов составляет 68,72–96,16 %. Наибольшие значения зольности измерены в более низкотемпературных источниках Хужирт и Шиверт.

Полученные результаты показывают, что температура воды влияет на продуктивность микробного сообщества. В высокотемпературных источниках содержание органического вещества в микробных матах и донных отложениях выше, чем в низкотемпературных источниках. Обратная зависимость обнаружена по зольности. Значения зольности выше в низкотемпературных источниках.

## Обсуждение

Гидротермы Монголии, где были проведены наши исследования, отличаются большим разнообразием физико-химических условий [9]. Температура термальных вод достигает 45–90 °С, рН 8,5–10,4, содержание сероводорода составляет 0,5–15,0 мг/л. Эти факторы создают особые условия для существования экстремофильных микроорганизмов. Прокариоты и эукариоты термальных источников формируют кооперативное алкалотермофильное сообщество, эффективно осуществляющее процессы продукции и деструкции органического вещества, трансформацию вулканогенных флюидов и синтез биогенных минералов при высоких температурах и щелочных рН.

Проведенные исследования дали возможность рассмотреть взаимосвязи между условиями среды и видовым составом, определить функциональное разнообразие и скорость биогеохимических процессов в микробном сообществе.

В районе выходов гидротерм и горячих ручьях наблюдается формирование микробных матов. В циано-бактериальных матах основными эдификаторами являются нитчатые цианобактерии рода *Phormidium* и



*Oscillatoria*. При увеличении температуры воды в большинстве источников наблюдается уменьшение количества видов цианобактерий. Развитие пурпурных матов наблюдается в источниках Цэнхэр, Шаргалжуут. Серные маты обнаружены в высокосульфидных, слабо щелочных участках горячих ручьев гидротерм Цэнхэр и Шаргулжуут.

Фототрофные микробные сообщества обладают невысокой продуктивностью. Высокие значения скорости аноксигенного фотосинтеза в матах, где доминируют цианобактерии, может быть объяснено переключением цианобактерий на аноксигенный фотосинтез. Максимальная скорость темновой фиксации составляет 0,003 гС/(м<sup>2</sup>·сут).

Процессы терминальной деструкции также обладают невысокой интенсивностью. Через процесс сульфатредукции расходуется на 2–3 порядка больше органического вещества, что обусловливается высоким содержанием сульфата в термальных водах. Такие значения процесса сульфатредукции благоприятствуют активной деятельности микроорганизмов цикла серы, даже в отсутствии в воде растворенного сульфида. Аноксигенные фототрофные бактерии, участвующие в данном цикле, достигают высокой численности в микробных матах щелочных источников (до 10<sup>6</sup> кл/мл).

Микробное сообщество гидротерм активно участвует в формировании химического состава вод. В синтезе растворенного кислорода участвуют оксигенные фототрофы. В регуляции карбонатного баланса воды участвуют оксигенные и аноксигенные фототрофы и органотрофные хемотрофы. Сульфатредукторы используют сульфат и образуют сероводород, который удаляется аноксигенными фототрофами и хемолитотрофными серобактериями.

Проведенные исследования показали, что алкалотермофильные микробные сообщества гидротерм Монголии отличаются высокой автономностью и тесными кооперативными связями. Оксигенные и аноксигенные фототрофы и хемолитотрофы водной толщи, донных осадков и микробных матов синтезируют органическое вещество. Высоко- и низкомолекулярные органические вещества используются в многоступенчатом процессе аэробной и анаэробной деструкции. В гидротермах, несмотря на высокую активность оксигенных цианобактерий, широко распространены анаэробные и факультативно-анаэробные деструкторы. Их численность значительно выше, чем количество аэробных прокариот. В разложении белка, целлюлозы и крахмала активное участие принимают гидролитики, численность которых достигает 10<sup>6</sup> кл/мл. На терминальных этапах деструкции большая часть органического вещества используется для восстановления сульфатов. Эти результаты показывают, что фототрофные и хемотрофные, аэробные и анаэробные прокариоты принимают активное участие в биогеохимических циклах углерода и серы в щелочных гидротермах Монголии.

В гидротермах формируются специфические микробные сообщества, которые могут служить природными модельными системами, имитирующие условия существования органического мира в докембрии. Характерно тесное соседство высокотемпературных и низкотемпературных сообществ,

проявление оксигенного и аноксигенного фотосинтеза и значительный вклад хемосинтеза в первичное продуцирование органического вещества. Во всех типах микробных матов биогеохимические процессы сопряжены с интенсивными циклами углерода и серы. Можно предположить важную роль микробных матов в концентрации и рассеивании химических элементов гидротермальных растворов.

*Работа финансирована за счет грантов РФФИ № 10\_04\_93169 Монг\_а, Минобразования и науки РФ Программа РНП, НОЦ Байкал.*

#### Список литературы

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Наука, 1980. – 487 с.
2. Геохимия подземных минеральных вод Монгольской Народной Республики / отв. ред. Е. В. Пиннекер. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1976. – С. 27–36.
3. Голлербах М. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Голлербах, Е. К. Косинская, В. И. Полянский. – М. : Сов. наука, 1953. – Вып. 2. – 398 с.
4. Горленко В. М. Влияние температуры на распространение фототрофных бактерий в термальных источниках / В. М. Горленко, Е. И. Компанцева, Н. Н. Пучкова // Микробиология. – 1985. – Т. 54, № 5. – С. 848–853.
5. Горленко В. М. Формирование микробных матов в горячих источниках и активность продукционных и деструкционных процессов / В. М. Горленко, Е. А. Бонч-Осмоловская // Кальдерные микроорганизмы. – М. : Наука, 1989.
6. Еленкин А. А. Синезеленые водоросли СССР. Спец. часть. Вып. 2 / А. А. Еленкин. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – С. 990.
7. Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы / Г. А. Заварзин. – М. : Наука, 1984. – 199 с.
8. Кузнецов С. И. Методы изучения водных микроорганизмов / С. И. Кузнецов, Г. А. Дубинина. – М. : Наука, 1989. – 288 с.
9. Ломоносов И. С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны / И. С. Ломоносов. – Новосибирск : Наука, 1974. – 227 с.
10. Микробные сообщества щелочных гидротерм / З. Б. Намсараев, В. М. Горленко, Б. Б. Намсараев, Д. Д. Бархутова ; отв. ред. М. Б. Вайнштейн. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. – 111 с.
11. Полевой практикум по водной микробиологии и гидрохимии : метод. пособие / Б. Б. Намсараев [и др.] ; отв. ред. М. Б. Вайнштейн. – М. ; Улан-Удэ : Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2005. – 68 с.
12. Федоров В. Д. О методах фитопланктона и его активности / В. Д. Федоров. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 168 с.
13. Brock T. D. Micro-organisms adapted to high temperatures // Nature. – 1967. – Vol. 214. – P. 882–885.
14. Castenholz R. W. Composition of hot spring microbial mats: a summary // Microbial Mats: Stromatolites / Cohen, Castenholz and Halvorson (eds.). – Alan R. Liss, – N. Y., 1984. – P. 101–119.

## The geochemical activity of microbial mats of hydrotherms of Mongolia

D. D. Barkhutova, D. D. Tsyrenova, B. B. Namsaraev,  
Davaasuren Tumenjargal

**Annotation.** In hydrotherms of Central Mongolia the physical-chemical parameters of water and bottom sediments were investigated and rates of microbial production and destruction processes were determined. Temperature of thermal waters reached 45–90 °C, pH equally 8,5–10,4, the hydrogen sulfide maintenance makes 0,5–15 mg/dm<sup>3</sup>. Microorganisms were formed cooperative alkalothermophilic community. At high temperatures and alkaline pH in various types of hydrotherms they effectively carry out processes of production and destruction organic substance, transformation volcanic fluids and synthesis of biogenic minerals.

**Key words:** thermal springs, microbial community, biogeochemical processes.

*Бархутова Дарима Дондоковна*  
кандидат биологических наук  
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
Институт общей и экспериментальной  
биологии СО РАН  
старший научный сотрудник  
тел.: (3012)434902

*Цыренова Дулма Доржиевна*  
кандидат биологических наук  
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
Институт общей и экспериментальной  
биологии СО РАН  
младший научный сотрудник  
тел.: (3012) 43-49-02

*Намсараев Баир Бадмабазарович*  
доктор биологических наук, профессор  
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
Институт общей и экспериментальной  
биологии СО РАН  
заведующий лабораторией микробиологии  
тел.: (3012) 434902

*Даваасурен Тумэнжаргал*  
доктор биологических наук, профессор  
Улаанбаатар 46, п/я 46-768, Монголия  
Монгольский государственный  
университет, биологический факультет  
заведующий кафедрой микробиологии  
тел.: (2111) 976-11-323970