

УДК 574.52

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ТЕРМОФИЛЬНЫМИ БИОЦЕНОЗАМИ В ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ КАМЧАТКИ

Тембрел Е.И.¹, Демина Л.Л.²

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

Научный руководитель: д.г.-м.н Г.А. Карпов.

Особенности биогеохимического поведения тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Pb, Cd) и металлоидов (As, Sb) были изучены при взаимодействии альго-бактериальных матов и термальных вод камчатских источников. Содержание металлов в 23-х пробах синезеленых водорослей (цианобактерии) и 21-й пробе воды из термальных ручьев, собранных летом 2007 г., было определено методами пламенной и электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии. Результаты наших исследований показали, что тяжелые металлы и металлоиды аккумулируются цианобактериями в разной степени: максимальные коэффициенты концентрации ($n \cdot 10^5$) были получены для Mn и Fe, в то время как минимальные ($n \cdot 10^1 - 10^2$) – для As и Sb. Установлено влияние физико-химических параметров термальных вод на биоаккумуляцию металлов и металлоидов альго-бактериальными матами. Полученные результаты позволяют рассматривать циано-бактериальные маты современных мелководных гидротермальных систем в качестве активного преобразователя термальных вод и важного фактора биогеохимической миграции микроэлементов.

Ключевые слова: синезеленые водоросли (цианобактерии), тяжелые металлы, биоаккумуляция, альго-бактериальные маты.

Камчатка - уникальный район проявления активного вулканизма и современной гидротермальной деятельности, для которой характерно эпitherмальное минерало- и рудообразование молодого возраста. Растворы многих современных высокотемпературных гидротермальных систем Камчатки несут повышенную минерализацию тяжелых металлов [6, 13]. В наиболее изученном в этом плане Узон-гейзерном геотермальном районе выявлено формирующееся поверхностное сульфидное рудопроявление преимущественно сурьмяно-мышьякового состава [6, 9] и есть предпосылки развития на глубине полиметаллического и золото-серебряного оруденения [7, 8]. Приповерхностное оруденение в кальдере Узон унаследовано развивается на базе микробиальной переработки залежей самородной серы, образовавшейся в фумарольно-сульфатарную стадию газогидротермального процесса [6, 11]. По шлейфу ряда источников обильно развивает-

ся альгобактериальное сообщество, которое формирует слоистый водорослевый мат с вертикальным распределением функциональных групп микроорганизмов по слоям [1, 5].

В целом, для всех матов характерно наличие нескольких основных зон, имеющих определенный набор микроорганизмов, с присущим им метаболизмом. Первая верхняя зона, имеющая зеленую окраску, - зона оксигенного фотосинтеза с цианобактериями; вторая - розовато-вишневого цвета - зона аноксигенного (бескислородного) фотосинтеза с пурпурными бактериями; третья - черного цвета - зона анаэробной деструкции с сульфидогенами [2, 3, 5]. Соответственно, эти зоны различаются по температурному режиму, рН, Eh и могут рассматриваться как биогеохимические барьеры, на которых отлагаются минеральные компоненты, выносимые термальными растворами. В ранних работах [5, 10] было отмечено накопление ряда микроэлементов в поверхностной зоне альгобактериальных матов.

Учитывая большую физиологическую роль тяжелых и переходных металлов, особенно железа и марганца, в жизнедеятельности водорослей [4], представляет интерес изучить геохимическое поведение металлов, находящихся в термальных водах, с бактериальным сообществом, в процессе прохождения воды по цианобактериальному мату. С этой целью во время полевых работ в 2007 году на Камчатке в кальдере вулкана Узон, на Верхне- и Нижне- Апапельских источниках и на источниках Академии наук были отобраны пробы термальной воды и контактирующей с ней биомассы мата. Основной задачей настоящего исследования является изучение степени аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов биомассой альгобактериальных матов различных гидротерм.

Методы исследования

Непосредственно в истоке термального источника или в начале развития альгобактериального мата по ручью термального потока по методике [14] отбиралась первая проба воды, в конце постройки мата - вторая. При этом измерялась температура, pH, Eh раствора.

Пробы биологического материала отбирались также в начале и конце мата по шлейфу источника, за исключением случаев, в которых мат имел небольшую площадь, где отбор проводился один раз. Перед анализом биологический материал высушивали при комнатной температуре, растирали в яшмовой ступке и разлагали с помощью концентрированной HNO_3 (MERCK super pure) в СВЧ системе "Speed Wave" (Германия).

Концентрацию тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Pb, Cd) и металлоидов (As, Sb) в пробах термальных вод, синезеленых и зеленых водорослей определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборах "Квант-2А" (в пламени) и "Квант-Z.ЭТА (в графитовой кювете). Для контроля правильности анализов использовали отечественные (ГСО) и международные (GSD-3,7) стандартные образцы. Для оценки физико-химических условий миграции вещества и анализа динамики процесса переноса и отложений микроэлементов в системе «раствор-мат» непосредственно в полевых условиях производился отжим свежесобранной биомассы мата (ручным прессом при Р около 5 кг/см^2).

Результаты и их обсуждение

В литературе уже описывалась возможность отложения минеральной компоненты в условиях усиленного притока минерализованных вод из глубины и резкого изменения pH в зоне фотосинтеза в связи с удалением CO_2 на мелководье (где обмен воды невелик, и быстрое использование растворенного бикарбоната приводит к нарушению равновесия). Наилучшие условия для этого создаются под слоем активно растущих цианобактерий в связи с появлением локальных зон с высоким pH [2, 3]. На изученных нами объектах при протекании термальной воды через зону разви-

тия альгобактериальных матов наблюдалось понижение температуры (среднем на 20⁰С), при этом кислотность среды уменьшалась (возрастание рН) в среднем на 1.2, окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в среднем повышался на 63 мВ.

В описанных нами источниках доминирующими организмами верхнего слоя являются *Mastigocladus laminosus* Cohn, *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom, *Ph. cincinnatum* Itzigs., *Ph. molle* (Kütz.) Gom, *Ph. laminosum* (Ag.) Gom, *Ph. valderiae* (Delp.) Geitl., *Ph. ambiguum* Gom., *Synechocystis salina* Wisl., *Oscillatoria terebriformis* (Ag.) Elenk., *O. terebriformis* F. pseudogrunowiana Elenk. et Kossinsk., *O. formosa* Bory.

Проведенные нами работы на термопроявлениях с разным химическим составом терм показали, что полученные нами значения содержания ряда элементов в термальных водах источников (Табл. 1) по порядку величин близки с данными [15]. Как видно из (Табл. 1), вариабельность содержания десяти изученных элементов в термальных водах различных источников весьма высока, что отражает геохимическую специализацию вулканогенных гидротермальных систем. Уровни содержания Fe, Mn и As в термальных водах изменяются в зависимости от физико-химических условий источников. Так, в более горячих, щелочных (рН>8,8) и слабо окисленных термальных водах Зеленого ручья источников Академии наук содержание Fe и особенно Mn существенно ниже, чем в восстановленных субнейтральных и слабокислых (рН 5,8-7,7) водах Термофильного и Строматолитовых источников I и II кальдеры вулкана Узон. Напротив, содержание As и Sb в воде опробованных источников Академии наук заметно выше, чем в гидротермах кальдеры Узон, а также ручье Горячем (сравнение по содержанию As). Для остальных металлов различия между их содержанием не столь существенны.

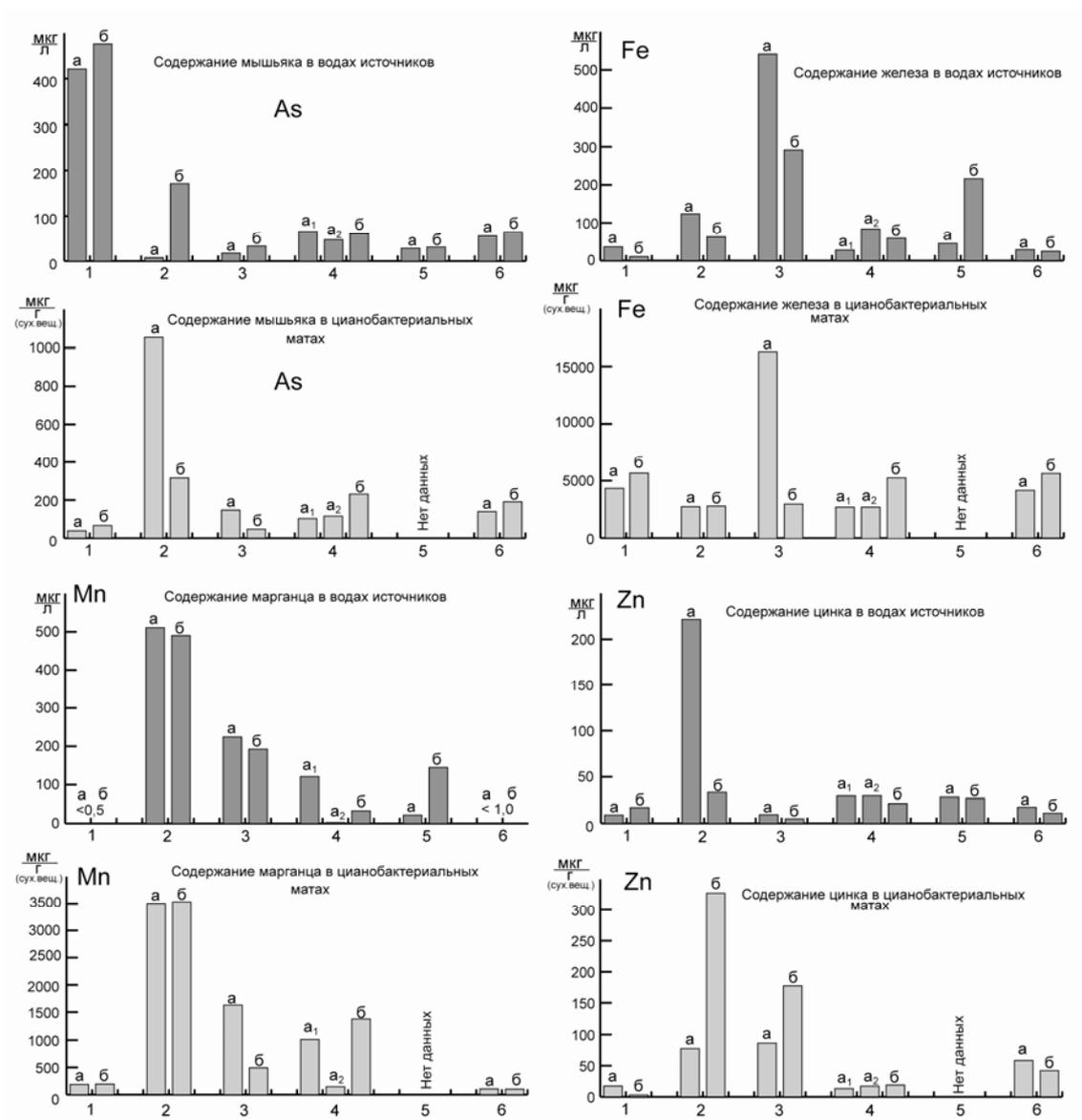


Рис. 1. Изменение содержания As, Mn, Fe, Zn в водах и цианобактериальных матах некоторых термальных источников Камчатки от их истока до устья.

1 - 6 - Места отбор проб; а – исток источника, б – устье источника

1 – ручей Зеленый, источники Академии Наук

2 – ручей Термофильный, кальдера вулкана Узон

3 – Строматолитовый участок II, кальдера вулкана Узон

4 – источники №18 и №19, Верхнее-Апапельская группа источников (а₁ – исток источника №18, а₂ – исток источника №19, б – общее устье (слияние источников № 18 и 19)

5 – источник №2, Верхнее-Апапельская группа источников

6 – ручей возле лагеря, Нижне-Апапельская группа источников

Термальные воды на изливе ручьев и в начале мата (т.е. до взаимодействия воды с альгобактериальным сообществом) отличаются по содержанию металлов от концевых частей ручьев и матов, причем по-разному

для разных элементов (рис. 1; табл. 1). Отмечено не только уменьшение концентрации элементов, но и увеличение содержания их в воде после ее прохождения по мату, что, возможно, вызвано вымыванием из мата. Однако далеко не всегда увеличение содержания элементов в воде сопровождается одновременным уменьшением их в верхнем зеленом слое мата, по видимому, взаимодействие воды и мата более сложное и требует дальнейшего детального исследования.

Более существенные различия в содержании металлов обнаруживаются в воде, отжатой из матов; например, в отжатой из мата воде Зеленого ручья содержание Fe, Mn, Zn, Cu и Pb от 2 (Pb) до 80 (Mn) раз выше, чем в простой воде этого ручья, что свидетельствует о влиянии биосообщества на мобилизацию металлов из термальных вод. Водные отжимы из верха и всей толщи мата Термофильного ручья также обогащены Mn, Cu, Cr, As, Sb относительно исходной термальной воды ручья.

Сравнение биоты верхней зеленой и средней красной частей мата показало увеличение в красной части содержания железа, меди, хрома, мышьяка, свинца, кадмия (Табл. 2). Содержание марганца почти не изменялось. Концентрация Zn, Co, Sb как увеличивается, так и уменьшается относительно зеленого слоя. Увеличение элементов в красном слое мата с одновременным уменьшением в воде и верхнем слое мата отмечено только для Cr, Fe, Cd. Это обусловлено, очевидно, неодинаковой степенью геохимической подвижности металлов в различающихся по биогеохимическим параметрам средах.

Сообщества водорослей в процессе своего метаболизма захватывают из термальных вод, утилизируют и выделяют в воду в виде метаболитов многие металлы, причем степень их бионакопления весьма высока. В этом можно убедиться, рассматривая коэффициенты накопления ($F_{\text{нак}}$) альго-бактериальных матов относительно термальных вод.

($F_{\text{нак}} = C_{\text{водор.}}/C_{\text{вода.}}$), т.е. рассматривая концентрирующую функцию синезеленых водорослей, обитающих в этих водах. Для Зеленого ручья вы-

страивается следующая последовательность убывания $F_{\text{нак}}$ в начале и конце бактериального мата:

$$\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Pb, Zn, Co} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{As, Sb}$$

исток - $4 \cdot 10^5$ $1 \cdot 10^5$ $6 \cdot 10^3$ $2 \cdot 10^3$ $1 \cdot 10^3$ $3 \cdot 10^2$ $1 \cdot 10^2$

$$\text{Mn} \approx \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd, Co} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Sb} > \text{As}$$

устье - $4 \cdot 10^5$ $5 \cdot 10^5$ $3 \cdot 10^4$ $7 \cdot 10^3$ $2 \cdot 10^3$ $1 \cdot 10^3$ $2 \cdot 10^2$ $1 \cdot 10^2$ 2

Для ручья Термофильного наблюдается следующая закономерность:

$$\text{Fe} > \text{Mn} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Sb} > \text{Co} > \text{Pb, Cd} > \text{Zn} > \text{Cr}$$

исток - $2 \cdot 10^4$ $7 \cdot 10^3$ $1 \cdot 10^5$ $7 \cdot 10^3$ $5 \cdot 10^3$ $2 \cdot 10^3$ $7 \cdot 10^2$ $3 \cdot 10^2$ $7 \cdot 10^1$

$$\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn, Cu} > \text{As, Co} > \text{Sb, Cd} > \text{Cr} > \text{Pb}$$

устье - $4 \cdot 10^4$ $1 \cdot 10^4$ $6 \cdot 10^3$ $2 \cdot 10^3$ $1 \cdot 10^3$ $5 \cdot 10^2$ $2 \cdot 10^2$

Как видно из этого ряда, наибольшим бионакоплением ($F_{\text{нак}}$ от $n \cdot 10^5$ до 10^3) в Зеленом ручье характеризуются Fe, Mn, Zn, Cu и Co, что обусловлено биохимической важностью этих элементов для живого вещества. В Термофильном ручье, кроме этих металлов, аналогичные высокие $F_{\text{нак}}$ (10^5 - 10^3) выявлены для As и Sb, которые являются токсичными элементами, но в бактериальных матах они накапливаются больше по сравнению с Зеленым ручьем, очевидно по причине более высокого содержания As и Sb в термальных водах Зеленого ручья. Отметим также, что повышение в несколько раз $F_{\text{нак}}$ Fe, Cd, Cu, Pb, Cd в концевой части мата связано с аналогичной причиной: в воде концентрация этих металлов уменьшилась по сравнению с истоками ручьев.

При сравнении концентрации элементов в верхнем зеленом слое с отжимом биоты верхнего слоя и всего мата источника Термофильного наблюдается существенное увеличение концентрации Mn в воде, отжатой из верхней зоны мата. Известно, что Mn – элемент, наиболее чувствительный к изменению окислительно-восстановительной обстановки. По-видимому, обогащение отжима верхнего слоя мата, где происходит кислородный фотосинтез с цианобактериями, обусловлено окислением Mn на границе раздела между окисленным верхним слоем и нижележащими слоями мата, находящимися в восстановительных условиях среды т.е. в зонах аноксигенно-

го фотосинтеза и анаэробной деструкции. Очевидно, в нижних слоях мата Mn находится преимущественно в растворе в форме ионов Mn^{2+} и/или тиокомплексов, что может создавать диффузионный градиент и приводить к повышению его геохимической подвижности Mn, способствуя его миграции внутри мата из нижних слоев в верхние. Аналогичное поведение демонстрируют Zn, Pb и Cr. Содержание As почти не меняется, тогда как концентрация Cd и Cu в отжиге понижается по всему мату, а Fe и Sb возрастает в отжиге нижних слоев мата.

Выводы

При протекании термальной воды по поверхности альгобактериальных матов (и при насыщении мата водой) происходит биогеохимическое взаимодействие водорослей и термальной воды. Полученные нами данными свидетельствуют о влиянии сообщества синезеленых водорослей на концентрацию тяжелых металлов в протекающей воде, а также о высокой интенсивности бионакопления этим сообществом ряда тяжелых металлов и металлоидов.

Тяжелые металлы извлекаются водорослями с коэффициентом накопления $F_{\text{нак}}$ от <10 до $5 \cdot 10^5$ в зависимости от геохимических свойств металлов, их биохимической важности для организмов и биогеохимических условий в различных зонах мата. Так, в зоне бескислородного фотосинтеза с пурпурными бактериями отмечено увеличение содержания железа, меди, хрома, мышьяка, свинца, кадмия.

Полученные результаты позволяют рассматривать цианобактериальные маты современных мелководных гидротермальных систем в качестве активного преобразователя термальных вод и важного фактора биогеохимической миграции микроэлементов.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов (мкг/л) в термальных источниках Камчатки.

Место взятия пробы	дата	t, °С	pH	Eh, мВ	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Cr	As	Sb	Pb	Cd
ручей Зеленый, источники Академии Наук														
исток	1.08.07 г.	65,5-76	8,99-8,3	-13,5	31,12	<0,5	8,94	1,75	0,85	1,49	421,1	15,0	3,12	0,44
устье	1.08.07 г.	42	9,31	69,75	5,62	<0,5	16,97	0,49	1,18	0,62	476,0	11,0	1,32	0,14
отжим верхней зоны мата	20.08.07 г.	-	-	-	96,16	40,4	76,3	8,29	0,68	1,40	464,0	4,05	6,53	0,24
ручей Термофильный, кальдера вулкана Узон														
в начале мата	23.06.07 г.	53,5	7,711	-208	118,52	509,74	221,55	<0,3	0,71	0,77	7,5	0,90	3,36	0,57
устье	23.06.07 г.	43	7,225	-234	57,52	489,13	33,35	0,67	1,06	0,66	171,0	2,07	14,4	0,19
отжим верхней зоны мата	23.06.07 г.	-	-	-	100,26	1356,8	8,54	1,23	0,86	1,21	198,0	1,84	1,92	0,19
отжим толщи всего мата	23.06.07 г.	55,5	-	-364	63,49	657,55	21,33	0,99	1,03	1,24	201,0	3,04	10,1	0,18
Строматолитовый участок II, кальдера вулкана Узон														
в начале мата	28.06.07 г.	73	5,79	-140	536,64	223,1	9,35	1,02	1,16	0,49	17,40	3,0	2,82	0,19
в конце мата	28.06.07 г.	41,6	8,49	-29	286,56	191,41	4,92	<0,3	0,88	0,28	33,0	1,38	6,18	0,30
после источников	18.07.07 г.	16,7	4,38	-44	135,89	30,06	21,07	1,16	0,96	3,83	1,2	1,70	1,12	0,76
источники №18 и №19, Верхнее-Апальская группа источников														
исток, № 18,	8.07.07 г.	57,6	6,55	-41,4	22,54	119,87	29,46	2,1	1,37	2,00	65,61	200,0	4,05	0,14
исток, № 19	8.07.07 г.	65,3	6,8	49	78,82	1,92	29,63	1,98	0,89	1,14	47,27	111,8	38,8	0,19
устье, источник №18 и №19	8.07.07 г.	44	7,7	79	53,96	31,97	21,39	0,8	0,21	0,68	60,6	196,5	6,3	0,09
источник №2, Верхнее-Апальская группа источников														
исток	10.07.07 г.	47	6,136	40	40,38	20,67	28,15	1,8	0,88	0,06	28,0	19,4	112,2	0,60
устье	10.07.07 г.	-	6,58	50	211,19	143,79	26,79	4,27	0,17	0,38	30,8	28,6	97,3	0,45
ручей возле лагеря, Нижне-Апальская группа источников														
исток	7.07.07 г.	39,9	7,045	20	23,3	<1	17,44	3,45	2,98	1,97	55,53	81,8	17,7	0,95
через 20 м	7.07.07 г.	37,7	7,315	78	19,3	<1	11,02	2,99	1,02	1,48	64,45	52,2	6,43	0,11

«-» не определялось

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов (мкг/г сух. вещ.) в цианобактериальных матах термальных источников Камчатки.

Место взятия пробы	дата	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Cr	As	Sb	Pb	Cd	Видовой состав цианобактерий
ручей Зеленый, источники Академии Наук												
исток	1.08.07 г.	4336,1	188,0	17,38	10,3	1,52	0,88	38,36	1,3	5,50	0,11	1
устье	1.08.07 г.	5661,1	194,1	2,98	17,07	2,16	0,71	65,74	1,63	9,34	0,35	2
ручей Термофильный, кальдера вулкана Узон												
в начале мата	23.06.07 г.	2730,1	3506,0	77,49	2,16	1,21	0,05	1053,9	4,10	2,23	0,33	3, 4, 2
в конце мата	23.06.07 г.	2771,4	3531,4	327,40	3,31	2,49	0,36	315,94	1,76	2,65	0,19	6
отжим верхней зоны мата	23.06.07 г.	2547,6	3570,1	160,60	1,18	0,50	0,22	911,4	1,69	23,0	0,16	-
отжим толщи всего мата	23.06.07 г.	10252,9	3646,7	5,23	2,02	<0,1	0,33	1054,0	11,0	64,86	0,19	-
Строматолитовый участок II, кальдера вулкана Узон												
в начале мата	28.06.07 г.	16272,0	1629,8	86,35	2,35	1,25	0,26	147,1	0,50	4,42	0,70	4, 3
в конце мата	28.06.07 г.	2950,3	492,4	177,34	0,97	0,25	0,08	46,98	0,25	4,42	0,22	6, 4
источники 18 и 19, Верхнее-Апапельская группа источников												
исток, № 18	8.07.07 г.	2683,0	1012,6	13,33	12,25	1,20	0,70	102,5	27,70	1,20	0,56	4, 1
исток, № 19	8.07.07 г.	2688,1	148,4	17,26	9,45	0,38	0,32	115,3	22,5	1,76	0,49	4, 1, 8
устье, источник № 18 и № 19	8.07.07 г.	5241,2	1375,4	18,97	14,1	4,13	0,92	230,76	36,6	1,18	0,38	2, 5, 3
источник №2, Верхнее-Апапельская группа источников												
шлейф	10.07.07 г.	6208,4	2696,8	255,61	19,9	16,5	2,02	854,7	52,5	8,38	1,0	4, 1, 8, 7
ручей возле лагеря, Нижне-Апапельская группа источников												
исток	7.07.07.	4149,3	108,4	58,46	13,13	1,16	0,35	139,74	10,95	9,38	0,45	5
через 20 м	7.07.07.	5630,3	102,7	42,02	19,82	2,10	0,50	190,3	9,10	2,59	0,73	5

1 - *Mastigocladus laminosus*; 2 - *Phormidium tenue*; 3 - *Ph. molle*; 4 - *Ph. ambiguum*; 4 - *Ph. laminosum*; 5 - *Ph. cinnamatum*; 6 - *Oscillatoria terebriformis*; 7 - *O. sp.*; 8 - *Synechocystis salina*

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко Л.М., Карпов Г.А., Орлеанский В.К., Заварзин Г.А. Роль цианобактериального фильтра в трансформации газовых компонентов гидротерм на примере кальдеры Узон // Журн. Общ. Биология, 1983, Т. 44. С. 842-851.
2. Герасименко Л.М., Орлеанский В.К. Актуалистическая палеонтология цианобактерий. // Труды Института микробиологии им. С.Н. Виноградского. Вып. XII: Юбилейный сборник к 70-летию Института - М.: Наука. 2004. С.80-108.
3. Герасименко Л.М. Актуалистическая палеонтология циано-бактериальных сообществ. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора биологических наук. Москва. 2002. 70 с.
4. Горюнова С.В., Ржанова Г.Н., Орлеанский В.К. Синезеленые водоросли (биохимия, физиология, роль в практике). М.: Наука, 1969. 228 с.
5. Кальдерные микроорганизмы. М.: Наука, 1989. 120 с.
6. Карпов Г.А. Современные гидротермы и ртутно- сурьмяно- мышьяковое оруденение. М.: Наука, 1988. 184 с.
7. Карпов Г.А. Узон-Вайотапский тип комплексного ртутно- сурьмяно- мышьякового оруденения в современных гидротермальных системах. // Геология рудных месторождений, 1991. №3. С. 3-21.
8. Карпов Г.А. Особенности вещественного состава и условий минералорудообразования современных рудообразующих вулканогенных гидротермальных систем Камчатки. // Сб. Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма. (Материалы международного полевого Курило-Камчатского семинара. 16 июля – 6 августа 2005 г.) Петропавловск-Камчатский: Отгиск, 2005. С. 74-88.
9. Карпов Г.А., Павлов А.Л. Узон-Гейзерная гидротермальная рудообразующая система Камчатки. Новосибирск: Наука, 1976. 88 с.
10. Карпов Г.А., Саенко Г.Н., Макиенко В.Ф., Недозоров А.Н. Концентрирование микроэлементов термофилами горячих источников Узона и Долины Гейзеров на Камчатке. // Вулканология и сейсмология, 1983, №6. С. 40-49.
11. Карпов Г.А., Николаева А.Г., Лупикина Е.Г. и др. Особенности гидрохимического и геохимического состава вещества бассейна озера Карымское в посткатастрофический период (1996-2005 гг.) // Сб. Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научнотехнической конференции, 17-18 января 2006 г., Петропавловск-Камчатский. С. 207-217.
12. Карпов Г.А., Ильин В.А. Онтогенез гидротермального процесса (происхождение и развитие). Владивосток: Дальнаука. 2006. 158 с.
13. Карпов Г.А., Алехин Ю.В., Лапицкий С.А. Новые данные по микроэлементному составу гидротерм и фумарол Камчатки. // Материалы конференции, посвященной Дню Вулканолога. 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 120-131.
14. Набоко С.И. Металлоносность современных гидротерм в областях тектономагматической активности. М.: Наука, 1980. 199 с.
15. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Карпов Г.А. и др. Геохимия вод основных геотермальных районов Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2000. 162 с.

ACCUMULATION OF TRACE METALS BY ALGO-BACTERIAL MATS
FROM THERMAL SPRINGS IN KAMCHATKA*Tembrel E.I., Demina L.L.*

The biogeochemical behaviour of the trace metals (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Pb, Cd) and metalloids (As, Sb) was studied during interaction of algo-bacterial mats and thermal waters of Kamchatka springs, collected in 2007 summer. Metal content in 23 samples of the blue-green algae (cyanobacteria) association and 21 samples of the running water was measured by the flame and electro-thermic atomic absorption spectrometry techniques. It was concluded that heavy metals were accumulated by cyanobacteria in a different extent: the highest concentration coefficients ($n \cdot 10^5$) were calculated for Mn and Fe, while the lowest ones ($n \cdot 10^1 - 10^2$) - for As, Sb. Physical-chemical parameters of the thermal water were shown to govern the trace metals bioaccumulation by the algo-bacterial mats. The interaction between thermal water and thermophile ciano-bacterial mats of the modern shallow hydrothermal systems make it possible to consider the latter to be an active transforming agent and important factor of the biogeochemical migration of the trace metals.

Key words: blue-green algae (cyanobacteria), trace metals, bioaccumulation, algo-bacterial mats.