

ЭКОЛОГИЯ

*Калитина Е. Г., канд. биол. наук, н. с.,
Челноков Г. А., канд. геол-минерал. наук,
Брагин И. В., канд. геол-минерал. наук,
Харитоновна Н. А., канд. геол-минерал. наук, зав. лаб.
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН*

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРИМОРСКОГО КРАЯ*

microbiol@mail.ru

Впервые изучен микробиологический состав термальных вод Приморья. Проведенные исследования показали, что микроорганизмы широко распространены в термальных водах Приморья и играют ключевую роль в геохимических циклах элементов. В подземных водах преимущественное развитие получили микроорганизмы цикла азота и углерода (денитрификаторы, олиготрофы), в поверхностных водах преобладали бактерии циклов углерода и азота (сапрофиты, олиготрофы, гетеротрофные нитрификаторы). В составе биоценоза термальных вод присутствовали как аэробные, так и анаэробные формы сапрофитов, при этом содержание анаэробных форм бактерий было в несколько раз выше, что скорее всего связано с низким содержанием кислорода в термальных водах Приморья. Напротив, в поверхностных водах (р. Чистоводное) по сравнению с подземными (термальные воды) преобладали аэробные формы сапрофитов. Выделенные культуры микроорганизмов представляют практический интерес как активные ремедиаторы среды.

Ключевые слова: *микроорганизмы, функциональные группы, термальные воды, сапрофиты, олиготрофы, цикл углерода, ремедиаторы.*

Термальные воды Приморья принадлежат к провинции азотных термальных вод молодых тектонических движений, распространенных в пределах гранитных массивов. Тектонический фактор контролирует, прежде всего, расположение позднемеловых гранитных массивов, циркуляция вод в которых осуществляется по нарушениям сколового и трещинного характера.

Известно, что исследования геохимического состава термальных источников проводились Приморской гидрогеологической экспедицией с 50-х годов. Первые обширные региональные химические исследования вод были проведены Е.П. Юшакиным (1968) [1] и затем дополнялись другими исследователями [2]. Одной из крупных работ, посвященной геохимии термальных вод Сихотэ-Алиня была работа сотрудников Чудаевой и Чудаева [3]. Однако, до настоящего времени не изучен микробиологический состав термальных вод Приморья. По литературным данным известно, что функционирование любой экосистемы, включая термальные воды, как части биосферы, невозможно без микроорганизмов, являющихся участниками геохимических циклов элементов [4]. Прокариоты, водоросли и грибы принимают активное участие в круговороте веществ и играют большую роль в продукционно - деструкционных процессах, а также в процессах синтеза и разрушения минералов, образования и потребления газов, изменения физико-химических параметров среды [5-6]. Поэтому данное исследование является актуаль-

ным. В связи с этим целью работы было изучить распределение и численность функциональных групп микроорганизмов в термальных водах Приморского края и оценить условия их обитания.

Объектами исследования являлись термальные воды, расположенные в Лазовском районе Приморского края в 10 км от поселка Биневское (№1) и термы близ поселка Чистоводное (термы №2). Все исследуемые термальные воды относились к самоизливающимся источникам подземных вод. Исследования проводили летом (июль) и осенью (начало ноября) 2012 г. Пробы воды для микробиологического анализа отбирали в стерильных условиях в стеклянные бутылки и анализировали пробы сразу же после доставки их в лабораторию. В термальных водах определяли численность микроорганизмов, способных принимать участие в геохимических циклах углерода, азота, серы, железа и марганца: сапрофиты-копиотрофы, олиготрофы, целлюлозоразлагающие бактерии, азотфиксаторы, аммонификаторы, автотрофные и гетеротрофные нитрификаторы, денитрификаторы, сульфатредуцирующие и тионовые бактерии, железозакисляющие и восстанавливающие микроорганизмы и марганецокисляющие и восстанавливающие бактерии. Для культивирования микроорганизмов различных эколого-трофических групп использовали специально подобранные селективные среды. Численность микроорганизмов определяли с использованием метода

предельных разведений. Основные гидрохимические параметры подземных вод были определены на месте отбора проб, остальные химические компоненты были определены в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН.

Результаты исследования показали, что характерными особенностями термальных вод Приморья являлась температура источников 21-32⁰С, уровень рН более 8, преимущественно восстановительные условия среды и низкая минерализация (100-200 мг/л). Среди основных катионов в источниках преобладал натрий, со-

ставляющий подавляющую часть в сумме содержания Na+K и кальций, а в составе анионов гидрокарбонат и сульфат ион (табл.1). Термы Приморья являлись типичными содовыми водами с резким преобладанием гидрокарбонат иона и натрия. Содержание органического углерода в источниках было крайне низким и составляло в среднем менее 1 мг/л (табл. 1). Физико-химические и геохимические параметры термальных вод в целом были стабильны в течение всех исследованных сезонов.

Таблица 1.

Химический состав термальных вод Приморья

Станции:	Сезон	Катионы, мг/л							
		pH	Na	Ca	Mg	K	NH ₄	Li	
№1 Горячий ключ	Лето	8,7	37,5	3,33	0,1	0,7	0	0,08	
	осень	8,65	27,97	3,68	0,27	0,76	0	0,04	
№ 2 Чистоводное	Лето	9,0	21,9	3,95	0,046	0,3	0	0,04	
	осень	8,56	22,3	4,6	0,05	0,3	0	0,04	
Станции:	Сезон	Анионы, мг/л							
		C орг мг/л	C неорг	Cl	SO ₄	NO ₃	F	NO ₂	Br
№ 1 Горячий ключ	Лето	0,7	9,4	5,04	11,7	0,25	6,25	0	0
	Осень	0,9	9,6	4,36	8,66	1,19	4,65	0,02	0
№ 2 Чистоводное	Лето	1,0	9,5	1,82	4,16	0,32	3,35	0	0
	осень	1,2	9,8	1,73	4,29	0,33	3,21	0	0

Полученные средние данные о газовом составе термальных вод Приморья свидетельствуют о том, что в составе растворенных газов термальных вод в период лето-осень присутствует в подавляющем количестве азот (99,3%), а также в небольшом количестве кислород (0,45%) и сероводород (0,25%).

Проведенные микробиологические исследования впервые показали, что микроорганизмы широко распространены в термальных водах Приморья и играют ключевую роль в геохимических циклах элементов. В летне-осенний сезон с участием микроорганизмов в термальных водах наиболее активно протекали процессы цикла азота и углерода (табл. 2). При этом, в цикле азота принимали участие микроорганизмы - аммонификаторы, которые окисляли азотсодержащие органические вещества до аммонийных соединений, а также автотрофные и гетеротрофные нитрификаторы, которые потребляли аммонийные соединения с образованием нитратов, и денитрификаторы, которые осуществляли восстановление нитратов в свободный азот. При этом, численность микроорганизмов – денитрификаторов была выше и составляла в среднем 5×10³кл/мл (табл. 2). Таким образом, было установлено, что микроорганизмы – денитрификаторы вносят свой вклад в общее

количество азота в газовом составе термальных вод Приморья.

В цикле углерода основное участие принимали олиготрофы и сапрофиты-копиотрофы, а также целлюлозоразлагающие бактерии, которые разлагали органическое вещество термальных вод до CO₂ и воды. Численность сапрофитов-копиотрофов в термальных водах была относительно не велика, что может быть связано с низким содержанием органического углерода в воде (табл.1). В составе биоценоза термальных вод присутствовали как аэробные, так и анаэробные формы сапрофитов, при этом содержание анаэробных форм бактерий было в несколько раз выше, что возможно связано с низким содержанием кислорода в термальных водах Приморья (табл. 2). Напротив, в поверхностных водах (р. Чистоводное) по сравнению с подземными (термальные воды) преобладали аэробные формы сапрофитов, что подтверждается более высоким уровнем кислорода в реке Чистоводное. Низкое содержание в термальных водах Приморья органических веществ отразилось на присутствии в воде более высокой в сравнении с сапрофитами численности олиготрофов (табл. 2). Индекс олиготрофности характеризует способность экологической системы к самоочищению. Если показатель индекса больше единицы, то это свидетельствует об ак-

тивной минерализации органического вещества и способности данной экосистемы к самоочищению [7-8]. В термальных водах этот показатель выше единицы, что свидетельствует о высокой способности термальных вод к самоочищению. В поверхностных водах, напротив, ин-

декс олиготрофности немного ниже единицы, что свидетельствует о большей загрязненности этих вод органическим веществом и более замедленном процессе самоочищения вод.

Таблица 2.

Средняя численность микроорганизмов различных функциональных групп в поверхностных и подземных водах Приморского края

Функциональные группы микроорганизмов	Подземные воды		Поверхностные воды	Нормы для чистой воды *	
	№1 Горячий ключ	№2 Чистоводное	№3 река Чистоводное		
Микроорганизмы геохимического цикла углерода, кл/мл					
Сапрофиты-копиотрофы (общее число)	аэробы	1×10^2	$0,9 \times 10^2$	$3,9 \times 10^3$	<800
	анаэробы	$3,3 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$0,4 \times 10^2$	
Олиготрофы	$1,6 \times 10^3$	$0,6 \times 10^3$	$3,1 \times 10^3$	<6000	
Индекс олиготрофности (олиг/сап)	3,7	2,0	0,7	>1	
Целлюлозоразлагающие бактерии	$1,2 \times 10^2$	$5,9 \times 10^2$	0	-	
Микроорганизмы геохимического цикла азота, кл/мл					
Азотфиксаторы	$0,2 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	-	
Аммонификаторы	$1,5 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$0,2 \times 10^2$	-	
Автотрофные нитрификаторы	$1,5 \times 10^2$	$0,6 \times 10^2$	0	30	
Гетеротрофные нитрификаторы	$1,9 \times 10^2$	$1,7 \times 10^3$	$4,1 \times 10^3$	-	
Денитрификаторы	$4,5 \times 10^3$	$5,6 \times 10^3$	0	100-120	
Микроорганизмы геохимического цикла серы, железа и марганца, кл/мл					
Тионовые бактерии	$0,6 \times 10^2$	$2,3 \times 10^3$	$0,4 \times 10^2$	-	
Сульфатредукторы	0	$0,2 \times 10^2$	0	30-50	
Железоокисляющие бактер.	$0,5 \times 10^1$	$0,2 \times 10^2$	0	-	
Железовосстанавливающие бактерии	$0,6 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	0	-	
Марганец окисляющие бакт	0	$0,1 \times 10^2$	$5,6 \times 10^2$	-	
Марганец восстанавливающие бакт.	0	0	$2,8 \times 10^2$	-	

Микроорганизмы, участвующие в превращениях соединений серы были менее развиты в термальных водах Приморья. Наличие щелочной среды способствовало развитию в водах тионовых бактерий, процесс метаболизма которых связан с образованием сульфатов. Наиболее высокая средняя численность тионовых бактерий была отмечена в термальных водах «Чистоводное» ($2,3 \times 10^3$ кл/мл), что может быть связано с более высоким содержанием в этих водах кислорода, необходимым для жизнедеятельности микроорганизмов [9-10]. Сульфатредуцирующие бактерии были отмечены в небольших количествах только в термальных водах «Чистоводное», что можно объяснить неподходящими условиями для жизнедеятельности данной группы микроорганизмов: низким количеством ор-

ганического углерода и высокой щелочностью среды (табл. 2).

Минимальные средние значения численности бактерий во всех исследуемых термальных водах Приморья были отмечены для микроорганизмов цикла железа и марганца, что связано с низкими концентрациями этих элементов в термальных водах Приморья (Fe -0,006 мг/л; Mn -0,0012 мг/л).

Таким образом, в поверхностных и подземных водах с течением времени сформировался свой специфический микробиологический состав микрофлоры. В термальных водах «Горячий ключ» наибольшее развитие получили микроорганизмы денитрификаторы и олиготрофы (цикл азота и углерода), в источнике «Чистоводное» - денитрификаторы, тионовые бактерии

и олиготрофы (цикл азота, серы, углерода), в поверхностных водах реки «Чистоводное» – са-та) (рис. 1).

профиты-копиотрофы, олиготрофы и гетеротрофные нитрификаторы (цикл углерода и азо

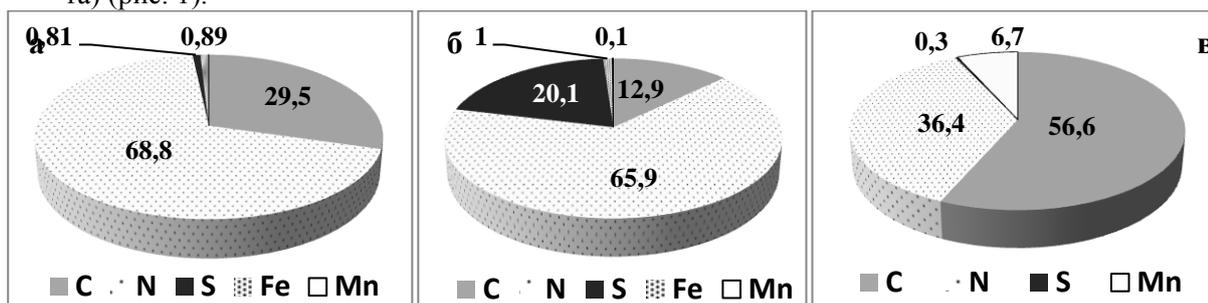


Рис. 1. Среднее процентное содержание микроорганизмов, участвующих в геохимических циклах углерода (С), азота (N), серы (S), железа (Fe) и марганца (Mn) в подземных¹ (а,б) и поверхностных водах² (в) Приморского края:

- 1 – подземные воды: а – термальные воды «Горячий ключ»; б – термальные воды «Чистоводное».
2- поверхностные воды: в – река «Чистоводное» Приморский край

В результате проведения исследований выделены накопительные и чистые культуры микроорганизмов различных функциональных групп, способных расти в щелочных условиях среды (рН 8,0-9,0) при температурах (28 - 30°C). Выделенные культуры представляют интерес для биотехнологии как активные ремедиаторы среды, устойчивые к высоким значениям температуры и рН.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-05-31350 мол_а

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юшакин Е.П. Отчет об исследовании минеральных источников в Приморском крае // Рукопись Приморского геологического управления. Владивосток. 1968. 298 с.
2. Авдеева А.Б. Основные типы минеральных вод юга Дальнего Востока (Приморский, Хабаровский края) и их ресурсы / Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей и климата: тр. ЦНИИ курортологии и физиотерапии. М. Т. 31. 1976. С. 19-30.
3. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Качество природных вод Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. 2001. №2. С. 28-36.
4. Биоразнообразие и активность микробного сообщества термального источника Котельниковский (оз. Байкал) / Н.Л. Белькова, В.В. Парфенова, М.Ю. Сулова, Т.С. Ан, К. Тадзаки // Известия РАН: серия биологическая. 2005. №6. С.664-671.

5. Влияние экологических условий на распределение функциональных групп микроорганизмов в минеральных источниках Хойто-Гол (Восточные Саяны) / Э.В. Данилова, Д.Д. Бархутова, А.В. Брянская, З.Б. Намсараев, Б.Б. Намсараев // Сибирский экологический журнал. 2009. №1. С. 45-53.

6. Kyle J.E., Schroeder P.A., Wiegel J.A. Microbial silicification in sinters from two terrestrial Hot Springs in the Uzon Caldera, Kamchatka, Russia // Geomicrobiology Journal. 2007. № 24. P. 627-641.

7. Токаренко О.Г. Микробиологический состав минеральных вод Терсинского месторождения // Севергеоэкотех. – Ухта, 2006. – С.384–387

8. Токаренко О.Г. К вопросу о распространенности микроорганизмов в минеральных водах Кузбасса на основе учения В.И.Вернадского о живом веществе // Материалы региональной научно-практической конференции. – Омск, 2009. – С.189–193.

9. Desulfomicrobium thermophilum sp. nov., a novel thermophilic sulphate-reducing bacterium isolated from a terrestrial hot spring in Colombia / Thevenieau F., Fardeau M., Ollivier B. Jouliau C., Baena S. // Extremophiles. 2007. №11. P. 295-303.

10. Distribution, diversity and activity of microorganisms in the hyper-alkaline spring waters of Maqarin in Jordan / Pedersen K., Nilsson E., Arlinger J., Hallbeck L., O'Neill A. // Extremophiles. 2004. №8. P. 151-164.