

**МИКРООРГАНИЗМЫ И ВОДОРΟΣЛИ В ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ И ЧИСТОВОДНОЕ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)****Е.Г. Калитина<sup>1</sup>, Т.В. Никулина<sup>2</sup>, Г.А. Челноков<sup>1</sup>, И.В. Брагин<sup>1</sup>, С.А. Зорин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Геологический институт ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия. E-mail: microbiol@mail.ru

<sup>2</sup>Биолого-почвенный институт ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия. E-mail: nikulina@biosoil.ru

Изучены распространение, структура и таксономический состав микроорганизмов и водорослей в термальных источниках Горячий Ключ и Чистоводное, а также в поверхностных водах – р. Чистоводная и руч. Теплый. Результаты исследования показали, что микроорганизмы были широко распространены в термальных и поверхностных водах и в течение года в них наиболее активно протекали микробные процессы цикла азота и углерода. Были выделены накопительные и чистые культуры микроорганизмов различных функциональных групп, проведена их идентификация до рода. Показано, что среди микрофлоры, распространенной в обследованных водах, доминировали непигментированные подвижные грамотрицательные бактерии рода *Bacillus* и *Pseudomonas*. В целом флора водорослей термальных и холодноводных водотоков была представлена 88 видами, разновидностями и формами водорослей из отделов Chrysophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta, из них для термальных источников было отмечено 59 внутривидовых таксонов. В систематической структуре альгофлоры гидротерм наибольшее количество внутривидовых таксонов содержали роды *Gomphonema* и *Nitzschia*.

**MICROORGANISMS AND ALGAE IN HOT SPRINGS GORYACHYI KLYUCH AND CHISTOVODNOE (PRIMORYE REGION, RUSSIA)****E.G. Kalitina<sup>1</sup>, T.V. Nikulina<sup>2</sup>, G.A. Chelnokov<sup>1</sup>, I.V. Bragin<sup>1</sup>, S.A. Zorin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geology, FEB RAS, 159 Stoletiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: microbiol@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, 159 Stoletiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: nikulina@biosoil.ru

Distribution, structure and taxonomic composition of microorganisms and algae in hot springs Goryachyi Klyuch, Chistovodnoe and in the surface waters of the Chistovodnaya River and Teplyi Creek were studied. As the results of the investigation – microorganisms were widespread in the thermal and surface waters, and within a year they most actively proceeded microbial processes of nitrogen and carbon cycle. Cumulative and pure cultures of microorganisms of various functional groups were isolated, held their identification to genus. The non-pigmented gram-negative bacteria from the genus *Bacillus* and *Pseudomonas* dominated in the microflora of investigated thermal waters. Algal flora of surveyed hot and cold watercourses was presented by 88 species, subspecies and forms of divisions Chrysophyta, Bacillariophyta and Chlorophyta, from them 59 intraspecific taxa were noted for thermal springs. Genus *Gomphonema* and *Nitzschia* contained the greatest number of intraspecific taxa in a systematic structure of algal flora of thermal springs.

Гидротермы 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 (Авдеева, 1976). В Приморском крае первые исследования геохимического состава вод термальных источников проводились Приморской гидрогеологической экспедицией в 50-х годах прошлого столетия. Позднее обширные региональные химические исследования вод были проведены Е.П. Юшакиным (1968), а затем дополнены другими исследователями (Чудаева, Чудаев, 2001; Брагин, Челноков, 2009). Однако до настоящего времени не изучен состав микроорганизмов и водорослей в термальных водах Приморья. По литературным данным известно, что функционирование любой экосистемы, включая термальные воды, как части биосферы, невозможно без микроорганизмов, являющихся участниками геохимических циклов элементов (Данилова и др., 2009). 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 (Белькова и др., 2005). В связи с этим целью работы было изучить структуру и особенности распределения микроорганизмов и водорослей в термальных источниках Горячий Ключ и Чистоводное. Для реализации цели исследования были выполнены следующие задачи: изучен физико-химический состав термальных вод Приморья; исследована сезонная динамика численности функциональных групп микроорганизмов, осуществляющих геохимические функции в водах термальных источников; определены таксономический состав микроорганизмов и водорослей, населяющих термальные воды Приморья.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования выбраны два термальных источника Лазовского района Приморского края – Горячий Ключ и Чистоводное, также дополнительно были обследованы р. Чистоводная и руч. Теплый. Горячий Ключ расположен рядом с ручьем Теплым, в 10 км от пос. Беневское, а источник Чистоводное впадает в р. Чистоводная (приток р. Кривая), недалеко от пос. Чистоводное. Все водотоки принадлежат к бассейну р. Кивка.

Материал для микробиологического и альгологического исследований был собран из термальных источников в ноябре 2012 г., мае, июне и октябре 2013 г. Микробиологические пробы отбирали в стерильные шприцы объемом 60 мл посезонно (лето, осень, весна) в течение 2012–2013 гг. В термальных водах оценивали численность и характер сезонного распределения микроорганизмов – участников геохимических циклов углерода, азота, серы, железа и марганца. Для культивирования микроорганизмов различных эколого-трофических групп использовали специально подобранные селективные среды. Численность микроорганизмов определяли с использованием метода предельных разведений (Егоров, 1995). Идентификацию выделенных культур микроорганизмов проводили по данным биохимических тест-систем bioMérieux (Франция). Основные гидрохимические параметры подземных вод (рН, температура) были определены на месте отбора проб, а химические компоненты (состав катионов, анионов, углерод органический) были определены в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН.

Водоросли отбирали по общепринятым методикам (Водоросли, 1989), постоянные препараты для диатомового анализа готовили методом прокаливания створок в перекиси водорода (Swift, 1967). При идентификации водорослей использовали световые микроскопы «Axioskop 40» (Zeiss, объективы 40x/0,65 и 100x/1,25 oil) и «Alphaphot-2 YS-2» (Nikon, объективы 40x/0,65 и 100x/1,25 oil). Для оценки частоты встречаемости водорослей использована шестибалльная шкала (Кордэ, 1956), согласно которой при описании структуры альгосообществ выделяли преобладающие виды. К разряду доминантов в водорослевом сообществе отнесены таксоны, имеющие максимально высокую частоту встречаемости.

При составлении эколого-географической характеристики флоры водорослей использовали литературные данные об экологии и распространении водорослей: Sladeček, 1986; Van Dam et al., 1994; Bukhtiyarova, 1999; Баринова и др., 2006. Для оценки степени органического загрязнения вод использовали метод Пантле-Бука (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (Сладечек, 1967), основанного на выявлении видов водорослей – индикаторов органического загрязнения вод.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *ХИМИЧЕСКИЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД*

Согласно литературным данным, азотные термальные воды Приморья локализованы в активной части зоны тектонического дробления, а разгрузка на поверхность земли обусловлена выходом глубинных жильных вод в приповерхностную зону трещиноватости. Термальные воды Приморья по составу относятся к гидрокарбонатно-натриевым термам с рН 8,5–9,4 и температурой от 21,3 °С до 30,1 °С, минерализацией 100–200 мг/л. Дебит источников Чистоводненской группы составляет от 0,37 л/с до 0,86 л/с (Брагин, Челноков, 2009).

В результате собственных исследований подтверждено, что характерными особенностями термальных вод Горячий Ключ и Чистоводное являлась температура 21–32 °С, уровень рН более 8, преимущественно восстановительные условия среды и низкая минерализация (100–200 мг/л). Среди основных катионов в источниках преобладал натрий, составляющий подавляющую часть в сумме содержания Na+K, и кальций, а в составе анионов – гидрокарбонат и сульфат ион (табл. 1). Термы относятся к типичным содовым водам с резким преобладанием гидрокарбонат иона и натрия. Содержание органического углерода в источниках было крайне низким и составляло в среднем менее 1 мг/л. Физико-химические и геохимические параметры термальных вод в целом были стабильны в течение всех сезонов. Река Чистоводная и воды ручья Теплый отличались более низкими значениями температуры и концентрации натрия и гидрокарбонатов, при этом уровень рН был близок к нейтральному (табл. 1). Полученные средние данные о газовом составе термальных вод Приморья свидетельствуют о том, что в составе растворенных газов в течение года присутствует в подавляющем количестве азот (99,3%), а также в небольшом количестве кислород (0,45%) и сероводород (0,25%).

Проведенные микробиологические исследования показали наличие в источниках Горячий Ключ и Чистоводное большого числа микроорганизмов, которые играли важную роль в геохимических циклах углерода и азота в течение года (лето-осень-весна) (табл. 2). В цикле углерода основное участие принимали микроорганизмы сапрофиты-олиготрофы (олиготрофы) и сапрофиты-копиотрофы (копиотрофы), которые разлагали органическое вещество термальных вод до углекислого газа и воды, внося тем самым вклад в общее содержание CO<sub>2</sub> в источнике. Численность копиотрофов в термальных водах в течение года варьировала от 4,0×10<sup>2</sup> до 1,2×10<sup>3</sup> кл./мл и в среднем была относительно невысока, что может быть связано с пониженным содержанием органического углерода в воде (табл. 1, рис. 1). Низкая концентрация в термальных водах органических веществ отразилась на присутствии в воде более высокого в сравнении с копиотрофами количества олиготрофов.

Численность олиготрофов была в целом стабильна в течение года и ее средние значения составляли 1,8×10<sup>3</sup> кл./мл (рис. 1). В составе биоценоза термальных вод присутствовали как аэробные, так и анаэробные формы сапрофитов, при этом содержание анаэробных форм бактерий было значительно выше, что связано с низким содержанием кислорода в термальных источниках Горячий Ключ и Чистоводное. В цикле азота в термальных водах Приморья принимали участие все исследуемые физиологические группы бактерий, но их численность значительно варьировала в разные сезоны года от 0 до 1,4×10<sup>4</sup> кл./мл, при этом наибольшее количество бактерий в среднем было отмечено в летний сезон (табл. 2). Численность гетеротрофных нитрификаторов, осуществляющих окисление аммонийного

Таблица 1

**Химический состав термальных и поверхностных вод Приморья  
(средние данные за период исследований)**

Показатели	Термальные источники		Водотоки	
	Горячий Ключ	Чистоводное	р. Чистоводная	руч. Теплый
t, °C	26,4	21,7	10,2	8,3
pH	8,7	8,9	6,9	7,2
C орг, мг/л	0,9	1,0	2,9	1,3
Катионы, мг/л				
Na	37,5	21,9	2,3	3,2
Ca	3,33	3,95	4,6	5,1
Mg	0,1	0,046	0,85	0,72
K	0,7	0,3	0,61	0,79
NH <sub>4</sub>	0	0	0,001	0,12
Li	0,08	0,04	0,001	0,01
Анионы, мг/л				
HCO <sub>3</sub>	68,8	62,1	22,8	19,2
Cl	4,36	1,82	1,25	1,6
SO <sub>4</sub>	8,66	4,16	3,19	3,82
NO <sub>3</sub>	1,19	0,32	2,21	0,03
F	4,65	3,35	0,13	0,07
NO <sub>2</sub>	0,02	0	0	0,01
Br	0	0	0	0

Таблица 2

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

Функциональные группы микроорганизмов	Подземные воды		Поверхностные воды	
	Горячий ключ	Чистоводное	р. Чистоводная	руч. Теплый
<b>Микроорганизмы геохимического цикла углерода, кл./мл</b>				
Сапрофиты-копиотрофы	4,0×10 <sup>2</sup>	1,2×10 <sup>3</sup>	2,1×10 <sup>5</sup>	3,2×10 <sup>4</sup>
Сапрофиты-олиготрофы	1,9×10 <sup>3</sup>	1,7×10 <sup>3</sup>	3,2×10 <sup>4</sup>	3,0×10 <sup>3</sup>
<b>Микроорганизмы геохимического цикла азота, кл./мл</b>				
Азотфиксаторы	0,6×10 <sup>2</sup>	0,5×10 <sup>2</sup>	1,3×10 <sup>2</sup>	3,0×10 <sup>2</sup>
Аммонификаторы	2,0×10 <sup>2</sup>	1,0×10 <sup>2</sup>	0,6×10 <sup>1</sup>	0
Автотрофные нитрификаторы	2,5×10 <sup>2</sup>	0,5×10 <sup>2</sup>	0	0
Гетеротрофные нитрификаторы	1,4×10 <sup>4</sup>	1,1×10 <sup>4</sup>	1,4×10 <sup>3</sup>	0,6×10 <sup>3</sup>
Денитрификаторы	4,5×10 <sup>2</sup>	2,5×10 <sup>3</sup>	0	0
<b>Микроорганизмы геохимического цикла серы, железа и марганца, кл./мл</b>				
Тионовые бактерии	0,4×10 <sup>2</sup>	0,9×10 <sup>1</sup>	0,1×10 <sup>2</sup>	0,3×10 <sup>2</sup>
Сульфатредукторы	0	0	0	0
Железо окисляющие бактерии	0,1×10 <sup>2</sup>	0	0	0,1×10 <sup>2</sup>
Железо восстанавливающие бактерии	1,2×10 <sup>1</sup>	0	0	0
Марганец окисляющие бактерии	1,4×10 <sup>1</sup>	0	0,9×10 <sup>2</sup>	0,8×10 <sup>2</sup>
Марганец восстанавливающие бактерии	0	0,4×10 <sup>2</sup>	0,3×10 <sup>2</sup>	0

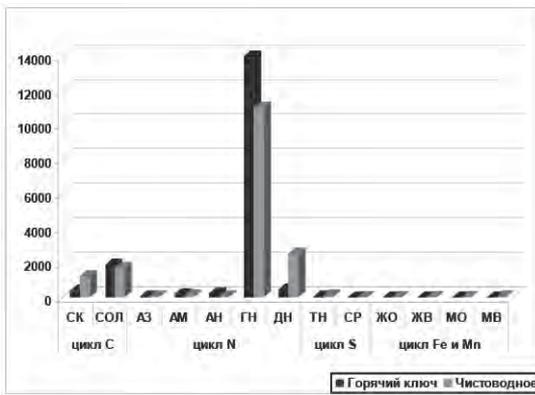


Рис. 1. Среднегодовая динамика численности эколого-трофических групп микроорганизмов в термальных водах Горячий ключ и Чистоводное.

СК – сапрофиты-копиотрофы, СОЛ – сапрофиты-олиготрофы, АЗ – азотфиксирующие бактерии, АМ – аммонификаторы, АН – автотрофные нитрификаторы, ГН – гетеротрофные нитрификаторы, ДН – денитрификаторы, ТН – тионовые бактерии, СР – сульфатредукторы, ЖО/МО – микроорганизмы, окисляющие железо и марганец, ЖВ/МВ – микроорганизмы, восстанавливающие железо и марганец.

(38,2 %), при этом по численности доминировали микроорганизмы функциональных групп азота (рис. 2).

Особенностью поверхностных вод реки Чистоводной и ручья Теплый, расположенных рядом с источниками, являлось увеличение численности функциональных групп микроорганизмов в летний сезон при прогреве воды и снижение количества бактерий в осенне-весенний периоды при ее охлаждении. Основную роль в круговороте веществ играли микроорганизмы цикла углерода (96,7%), азота (2,8%) и марганца (0,4%) (рис. 2). В цикле углерода по численности доминировали сапрофиты-копиотрофы, их количество в среднем составляло  $1,2 \times 10^5$  кл./мл. При этом среднее содержание микроорганизмов циклов углерода в р. Чистоводная и ручье Теплый было значительно выше, чем в термальных водах, что, возможно, связано с более высоким содержанием органических веществ и

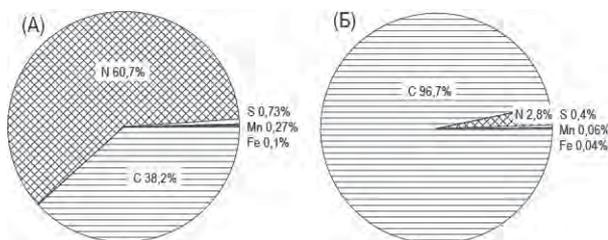


Рис. 2. Среднее процентное содержание микроорганизмов, участвующих в геохимических циклах углерода (С), азота (N), серы (S), железа (Fe) и марганца (Mn) в термальных источниках Приморья (А) и поверхностных водах р. Чистоводная и руч. Теплый ключ (Б).

азота с образованием нитритов и нитратов, была высокой во все сезоны года, а микроорганизмы, участвующие в превращениях соединений серы были менее развиты. Наличие щелочной среды термальных вод способствовало преимущественному развитию в водах тионовых бактерий, процесс метаболизма которых связан с образованием сульфатов. Численность тионовых бактерий в источниках варьировала от  $0,9 \times 10^1$  до  $0,4 \times 10^2$  кл./мл, при этом наибольшие количества бактерий были отмечены в осенний сезон (табл. 2). Сульфатредуцирующих бактерий, восстанавливающих сульфаты до сероводорода, обнаружено не было. Минимальные средние значения численности бактерий в исследуемый период в термальных водах были отмечены для микроорганизмов цикла железа и марганца, что связано с низкими концентрациями этих элементов в источниках ( $Fe - 0,1$  мг/дм<sup>3</sup>;  $Mn - 0,0008 - 0,001$  мг/дм<sup>3</sup>). Таким образом, в термальных водах Приморья преобладали процессы цикла азота (60,7 %) и углерода

более благоприятными условиями для развития данной физиологической группы бактерий (табл. 2). Среди микроорганизмов преобладали аэробные формы бактерий, что свидетельствует о более высоком содержании кислорода в этих точках. В цикле азота в реке Чистоводной и ручье Теплый наибольшее участие принимали гетеротрофные нитрификаторы, окисляющие азотсодержащие органические вещества до нитритов и нитратов, при этом более высокую численность

бактерий отмечали в р. Чистоводная во все сезоны. Наличие марганца в поверхностных водах стимулировало развитие марганцеоксиляющих микроорганизмов, численность которых составляла в среднем  $0,9 \times 10^2$  и  $0,8 \times 10^2$  кл./мл соответственно и была выше, чем в термальных водах (табл. 2).

Таким образом, особенности химического состава, низкое содержание органики, наличие восстановительной обстановки в термальных водах Горячий Ключ и Чистоводное влияет на развитие разнообразных функциональных групп бактерий, что в целом создает специфический микробиологический пейзаж. В термальных водах наибольшее развитие в течение года получили гетеротрофные нитрификаторы и сапрофиты-олиготрофы (цикл азота и углерода), в поверхностных водах – сапрофиты-копиотрофы и гетеротрофные нитрификаторы (цикл углерода и азота) (рис. 2).

В результате выполнения исследований были выделены накопительные и чистые культуры микроорганизмов различных функциональных групп, способные расти в щелочных условиях среды (рН 8,0–9,0) при температурах (28–30 °С), проведена их идентификация до рода. Показано, что среди микрофлоры, распространенной в термальных водах Горячий Ключ и Чистоводное, доминировали непигментированные подвижные грамотрицательные бактерии. Они составляли 91 % выделенных штаммов. По типу метаболизма 76,6 % из них относились к факультативно анаэробным бактериям, 24,3 % которых сбраживали глюкозу, 17,6 % – сахарозу, 6,6 % – лактозу, 8,3 % выделяли газ при брожении, 6,2 % синтезировали уреазу, 13,6 % из исследованных штаммов образовывали  $H_2S$  (табл. 3).

В поверхностных и грунтовых водах преобладали пигментированные грамотрицательные формы бактерий, они составляли 75 % от всех выделенных штаммов, при этом 52 % из них относились к аэробным бактериям. По типу метаболизма 38 % сбраживали глюкозу, 11,2 % – сахарозу, 15,1% – лактозу, 7,4% выделяли газ при брожении, 1,2 % синтезировали уреазу, 2,1 % образовывали сероводород (табл. 3).

#### Альгофлора термальных вод

Флора водорослей обследованных водотоков (минеральных источников Горячий Ключ и Чистоводное, реки Чистоводной и Теплого ручья) представлена 81 видом (88 таксонами внутривидового ранга, учитывая номенклатурный тип вида) водорослей из 7 классов, 14 порядков, 20 семейств и 39 родов отделов Chrysophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta (табл. 4). Основа альгофлоры была сформирована диатомовыми водорослями, на долю которых приходилось 95,5 % от общего числа внутривидовых таксонов. В систематической структуре альгофлоры наибольшее количество видов, разновидностей и форм содержали роды *Gomphonema* – 11, *Nitzschia* – 6 и *Navicula* – 5 видов и разновидностей.

Для термальных источников было отмечено 59 видов, разновидностей и форм золотистых, диатомовых и зеленых водорослей. Наиболее высокую внутривидовую вариативность имели роды *Gomphonema* (9) и *Nitzschia* (5). При высоком видовом сходстве

Таблица 3

#### Таксономический состав микроорганизмов в термальных и поверхностных водах Приморского края

Водоток	Обнаруженные мезофильные бактерии, род
Термальный источник Горячий ключ	<i>Azotobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Desulfomonas</i> , <i>Thiobacillus</i> , <i>Nitrobacter</i> , <i>Nitrosomonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Enterobacter</i>
Термальный источник Чистоводное	<i>Azomonas</i> , <i>Nitrobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Desulfobacterium</i> , <i>Geobacillus</i> , <i>Thiomicrospira</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Thiobacillus</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Citrobacter</i>
р. Чистоводная	<i>Pseudomonas</i> , <i>Acetobacterium</i> , <i>Proteus</i> , <i>Sarcina</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Sideocapsa</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Vibrio</i>
руч. Теплый	<i>Thiobacillus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Leptothrix</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Sulfobacillus</i> , <i>Acetobacterium</i>

Таблица 4

Видовой состав водорослей перифитона минеральных источников Горячий ключ и Чистоводное, руч. Теплый и р. Чистоводная

Таксон	Водоток				Место-обитание	Галобность	pH	S	Распространение
	Горячий ключ	Теплый	Чистоводное	Чистоводная					
<b>Отдел Chrysophyta</b> <b>Класс Chrysophyceae</b> <b>Порядок Hydrurales</b> Семейство Hydruraceae									
<i>Hydrurus foetidus</i> (Villars) Kirchner	2	-	-	1-2	В	-	-	о-χ	-
<b>Отдел Bacillariophyta</b> <b>Класс Coscinodiscophyceae</b> <b>Порядок Melosirales</b> Семейство Melosiraceae									
<i>Melosira varians</i> Agardh	1	-	1	-	В-Р	i	alf	α-β	k
<b>Порядок Aulacoseirales</b> Семейство Aulacoseiraceae									
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müller) Simonsen	1	-	1	1	Р	i	acf	о-χ	b
<b>Класс Fragilariophyceae</b> <b>Порядок Fragilariales</b> Семейство Fragilariaceae									
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	1	-	-	1	Р	i	alf	о	k
<i>Diatoma anceps</i> (Ehrenberg) Kirchner	-	-	-	1	В-Р	hb	alf	β	k
<i>D. hyemalis</i> (Roth) Heiberg	2	1	1	1	В	hb	i	β-о	k
<i>D. mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	1-4	2-6	1-2	2	В	hb	alf	χ-β	k
<i>D. vulgaris</i> Bory	-	-	-	1	В-Р	i	i	β	k
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (Rabenhorst) Rabenhorst	1	-	1	-	В-Р	i	alf	-	k
<i>F. vaucheriae</i> (Kützing) Petersen	-	1	1	1	Е	i	alf	о-β	k
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) Patrick var. <i>arcus</i> f. <i>arcus</i>	1	-	1	2-6	В	i	alf	χ	a-a
<i>H. arcus</i> var. <i>arcus</i> f. <i>recta</i> (Cleve) Foged	-	-	1	1-5	В	i	alf	о	a-a
<i>H. arcus</i> var. <i>amphioxys</i> (Rabenhorst) Patrick	-	-	-	1	В	i	alf	χ	a-a
<i>H. arcus</i> var. <i>linearis</i> (Holmboe) R. Ross	-	-	-	1	В-Р	i	alf	χ	a-a
<i>Meridion circulare</i> var. <i>circulare</i>	1-3	1-5	1-2	1-2	В	hb	alf	о-χ	k
<i>M. circulare</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck	1	1-3	-	-	В	hb	alf	χ-о	k
<i>Stausosirella leptostauron</i> (Ehrenberg) Williams et Round	-	-	-	1	В	-	-	-	-

продолжение таблицы 4

Таксон	Водоток				Место-обитание	Галоб-ность	pH	S	Распро-странение
	Горячий ключ	Теплый	Чисто-водное	Чисто-водная					
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	-	-	1	-	P	i	alb	b-o	k
<i>U. inaequalis</i> (H.Kobayasi) M.Idei	-	-	1	1-2	B-P	-	-	-	-
<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère	1	1	1-5	1-6	B-P	i	alf	o-α	k
<b>Класс Bacillariophyceae</b> <b>Порядок Eunotiales</b> Семейство Eunotiaceae									
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	-	1	-	-	B	i	acf	o	k
<i>E. implicata</i> Nörpel, Lange-Bertalot et Alles	-	-	1	1	B	-	acf	-	-
<i>E. praeurupta</i> Ehrenberg	1	-	1	1	B	hb	acf	β	k
<i>E. serra</i> Ehrenberg	-	-	-	1	B	hb	acf	o-β	a-a
<b>Порядок Cymbellales</b> Семейство Cymbellaceae									
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	-	-	-	1	B	i	alf	β-o	k
<i>C. cistula</i> (Ehrenberg) Kirchner	-	-	-	1	B	i	alf	o	b
<i>C. kolbei</i> Hustedt	1	1	1-6	1-3	B	i	alf	-	-
<i>C. turgidula</i> Grunow	1	1	1-4	1	B	-	i	-	k
<i>Cymbopleura lata</i> (Grunow) Krammer	-	-	-	1	B	-	-	-	-
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse ex Rabenhorst) Mann	1	1	1	1	B	i	i	o	k
<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) Mann	1	-	1-4	1-3	B	i	i	χ-o	k
<i>Placoneis placentula</i> (Ehrenberg) Heinzerling	-	-	-	1	B	i	alf	χ-β	k
Семейство Gomphonemataceae									
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M. Schmidt	-	-	-	1	B	i	i	χ	a-a
<i>Gomphoneis olivaceum</i> (Hornemann) Dawson ex Ross et Sims	-	-	-	1-2	B	i	alf	β	k
<i>G. quadripunctatum</i> (Oestrup) Dawson ex Ross et Sims	1	3-4	1	1-5	B	i	i	-	b
<i>Gomphonema affine</i> Kützing	-	-	1	-	B-P	-	-	o-β	k
<i>G. angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	1-4	2-5	1-2	1-4	B	i	alf	β	k
<i>G. angustum</i> Agardh	1-2	1	1-2	1	B	i	alf	o	b
<i>G. brebissonii</i> Kützing	-	-	-	1	B	i	alf	β	b
<i>G. clavatum</i> Ehrenberg	-	-	1	1-3	B	i	i	o-β	k
<i>G. aff. clevei</i> Fricke	1	4	1-6	1-4	B	-	-	χ	k
<i>G. insigneforme</i> Reichardt & Lange-Bertalot	1	3-6	1	2	B	-	-	-	-
<i>G. micropus</i> Kützing	-	-	-	1	B	i	alf	o	k

продолжение таблицы 4

Таксон	Водоток				Место-обитание	Галоб-ность	pH	S	Распро-странение
	Горячий ключ	Теплый	Чисто-водное	Чисто-водная					
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	-	-	1-2	1	B	i	alf	β	b
<i>G. truncatum</i> Ehrenberg	-	-	1	1	B-P	i	alf	β-o	k
<i>G. vibrio</i> Ehrenberg	-	-	-	1	B	-	-	o	-
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolec et Stoermer f. <i>sinuata</i>	-	1	-	1-4	B	i	alf	β	b
<i>R. sinuata</i> f. <i>antiqua</i> (Grunow) Kociolek et Stoermer	-	-	-	1	B	i	alf	β	b
Семейство Rhoicospheniaceae									
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot	-	1	-	-	B-P	i	alf	χ-o	k
<b>Порядок Achnanthales</b> Семейство Cocconeidaceae									
<i>Cocconeis disculus</i> (Schumann) Cleve	-	-	1	-	B	i	alf	χ-o	k
<i>C. placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i>	-	1	-	-	B	i	alf	o-b	k
<i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	1	1-2	1-6	4-6	B	i	alf	β	k
<i>C. placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	-	1	1-2	1	B	i	alf	-	b
Семейство Achnanthidiaceae									
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	1-4	3-6	2-6	6	B	i	i	β	k
<i>A. coarctatum</i> Brébisson ex W. Smith	-	-	1	-	B	-	-	o-α	k
<i>A. exiguum</i> (Grunow) Czarnecki	-	-	1	1	B	i	alf	o-β	k
<i>A. thermale</i> Rabenhorst	-	2-3	-	-	B	-	i	-	k
<i>Eucocconeis laevis</i> (Oestrup) Lange-Bertalot	-	-	-	1	B	-	-	o	-
<i>Planothidium haynaldii</i> (Schaarschmidt) Lange-Bertalot	1-4	1-3	1-2	1-2	B	-	alf	β-α	k
<i>P. lanceolatum</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	1-5	5-6	1-2	1-3	B	i	alf	χ-o	k
<i>Rossthidium linearis</i> (W. Smith) Round et Bukhtiyarova	1	-	-	2-3	B	i	i	χ-o	k
<b>Порядок Naviculales</b> Семейство Diadesmidaceae									
<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow) Mann f. <i>biceps</i> (Grunow) Hustedt	1-2	1	-	-	B	-	-	-	-
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) Mann	1	1	-	-	B	i	i	χ-β	a-a

продолжение таблицы 4

Таксон	Водоток				Место-обитание	Галоб-ность	pH	S	Распро-странение
	Горячий ключ	Теплый	Чисто-водное	Чисто-водная					
Семейство Amphipleuraceae									
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	-	-	-	1	B	hb	alf	χ-β	b
Семейство Pinnulariaceae									
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	1	-	-	2	B	i	i	o-β	k
<i>P. rupestris</i> Hantzsch	-	-	1	1	B	-	acf	-	-
Семейство Naviculaceae									
<i>Geissleria ignota</i> (Krasske) Lange-Bertalot et Metzeltin	1	-	-	-	B	-	-	-	-
<i>Navicula avenacea</i> (Brébisson et Godey) Brébisson ex Grunow	-	-	-	1	B	i	alf	o-β	k
<i>N. cryptotenella</i> Lange-Bertalot	-	-	1-2	1	B	i	alf	o-β	k
<i>N. margalithii</i> Lange-Bertalot	-	-	-	1	B	hl	alf	o	-
<i>N. menisculus</i> Schumann	-	-	1	-	B	i	alf	χ-β	k
<i>N. radiosa</i> Kützing	-	-	-	1	B	i	i	o	k
<b>Порядок Thalassiophysales</b>									
Семейство Catenulaceae									
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	-	-	-	1	B	i	alb	β-o	k
<i>A. pediculus</i> (Kützing) Grunow	1-3	1-6	1	1	B	i	alb	o	k
<i>A. veneta</i> Kützing	-	-	1	-	B	i	alf	o	k
<b>Порядок Bacillariales</b>									
Семейство Bacillariaceae									
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	1-3	1	-	-	B	i	alf	β-o	k
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	1	1	-	1	B	i	alf	χ	b
<i>N. fonticola</i> Grunow	-	1	-	-	B	i	alf	o	b
<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow	-	-	1	-	B	hl	alb	o	k
<i>N. linearis</i> (Agardh) W. Smith	1-6	1	1	1	B	i	i	χ	b
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	1	-	-	-	B	i	i	α-β	k
<i>N. paleacea</i> (Grunow) Grunow	1-5	-	3	-	B-P	i	alf	β	k
<b>Порядок Rhopalodiales</b>									
Семейство Rhopalodiaceae									
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson var. <i>adnata</i>	1	1	1-3	1	B	i	alb	β-α	k
<i>E. adnata</i> var. <i>porcellus</i> (Kützing) Ross	-	-	1	-	B	i	alb	β	k
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	-	-	1	-	B	i	alb	χ-o	b

окончание таблицы 4

Таксон	Водоток				Место-обитание	Галоб-ность	рН	S	Распро-странение
	Горячий ключ	Теплый	Чисто-водное	Чисто-водная					
<b>CHLOROPHYTA</b>									
Класс <i>Klebsormidiophyceae</i>									
Порядок <i>Coleochaetales</i>									
Семейство <i>Klebsormidiaceae</i>									
<i>Klebsormidium rivulare</i> (Kütz- ing) Morison et Sheath	-	-	1	-	В	-	-	о-β	-
Класс <i>Zygnematoophyceae</i>									
Порядок <i>Zygnematales</i>									
Семейство <i>Zygnemataceae</i>									
<i>Spirogyra</i> sp. ster.	-	-	1-6	-	В	-	-	-	-
Класс <i>Ulvophyceae</i>									
Порядок <i>Ulotrichales</i>									
Семейство <i>Ulotrichaceae</i>									
<i>Ulothrix zonata</i> (Weber et Mohr) Kützing	-	-	2	-	В-Р	i	i	о-α	k

Примечание: Частота встречаемости организмов указана по шестибальной шкале: 1 – единично, 2 – редко, 3 – нередко, 4 – часто, 5 – очень часто, 6 – масса (Кордэ, 1956). «-» – нет данных.  
Местообитание: Р – планктонные, В-Р – бентосно-планктонные, В – бентосные, В-Е – бентосно-эпифитные. Галобность: hl – галофилы, hb – галофобы, i – индифференты.  
Отношение к рН: alf – алкалофилы, alb – алкалобиоты, асf – ацидофилы, i – индифференты.  
Сапробность: χ – ксеносапробионт, χ-о – ксено-олигосапробионт, о-χ – олиго-ксеносапробионт, χ-β – ксено-бетамезосапробионт, о – олигосапробионт, о-β – олиго-бетамезосапробионт, β-о – бета-олигомезосапробионт, о-α – олиго-альфамезосапробионт, β – бета-мезосапробионт, β-α – бета-альфамезосапробионт, α-β – альфа-бетамезосапробионт.

перифитонных альгосообществ минеральных источников (44 % таксонов являются общими для обеих флор), наблюдалось абсолютное различие состава преобладающих видов. Альгофлора источника Горячий Ключ включала 37 видов и разновидностей золотистых и диатомовых. В обрастаниях камней доминировали диатомеи, это виды *Nitzschia linearis*, *N. paleacea*, *Planothidium lanceolatum*, *Hantzschia amphioxys* и *Amphora pediculus* в сочетании с субдоминантами *Diatoma mesodon*, *Gomphonema angustatum* и *Planothidium haynaldii*. В обрастаниях субстратов источника Чистоводное отмечено 49 внутривидовых таксонов диатомовых и зеленых водорослей. Высшие оценки обилия принадлежали видам из отдела Bacillariophyta – *Cymbella kolbei*, *Gomphonema* aff. *clevei*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Achnantheidium minutissimum*, а также в осеннее время было отмечено массовое развитие стерильной зеленой нитчатки *Spirogyra* sp. ster, в качестве субдоминанта – диатомея *Ulnaria ulna* (табл. 4). Водоросли, составившие комплекс преобладающих видов, имеют сходную экологическую характеристику, в основном это виды – индифференты по отношению к солености, алкалофилы, бентосные и географически широко распространенные, но с различным отношением к органическому загрязнению водной среды (сапробное значение видов изменяется от χ до β-α).

Оценка качества вод минеральных источников Горячий Ключ и Чистоводное, а также близко к ним расположенных водотоков (руч. Теплый и р. Чистоводная) методом Пантле-Бука в модификации Сладечека показала, что в летний и осенний периоды 2012–2013 гг. значения индексов сапробности (S) изменялись от 0,9 до 1,38. Таким образом, воды обследу-

Таблица 5

## Сапробные показатели термальных и поверхностных вод

Водоток	Индекс сапробности (S)				Степень сапробности	Класс чистоты вод
	ноябрь 2012	май 2013	июнь 2013	октябрь 2013		
Источник Горячий ключ	1,32	1,30	1,11	1,27	о	II
Источник Чистоводное	1,29	1,33	1,36	1,34	о	II
руч. Теплый	1,38	1,27	0,9	1,22	χ-β-о	II
р. Чистоводная	1,21	1,1	1,29	1,31	о	II

дованных водотоков принадлежали к ксено-бета- и олигосапробной зонам, что соответствует II классу чистоты и классифицируются как чистые воды (табл. 5).

При обследовании термальных источников (Горячий Ключ и Чистоводное) Лазовского района Приморского края были выявлены химические характеристики воды и впервые получены результаты о таксономическом составе микро- и альгофлоры. Воды источников характеризуются температурой 21–32 °С, pH более 8, низкой минерализацией, относятся к типичным содовым водам с резким преобладанием гидрокарбонат иона и натрия, низким содержанием органического углерода и преобладанием азота в составе растворенных газов. Общий состав микрофлоры двух гидротерм представлен 16 родами микроорганизмов, общими из которых являются роды *Bacillus*, *Nitrobacter* и *Pseudomonas*. Альгофлора термальных источников включала 59 видов, разновидностей и форм золотистых, диатомовых и зеленых водорослей. В гидротермальных альгосообществах выявлены уникальные комплексы преобладающих видов водорослей.

## ЛИТЕРАТУРА

- Авдеева А.Б. 1976.** Основные типы минеральных вод юга Дальнего Востока (Приморский, Хабаровский края) и их ресурсы // Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей и климата: труды ЦНИИ курортологии и физиотерапии. М. Т. 31. С. 19–30.
- Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006.** Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское издательство Piles Studio. 498 с.
- Белькова Н.Л., Парфенова В.В., Сулова М.Ю., Ан Т.С., Тадзаки К. 2005.** Биоразнообразие и активность микробного сообщества термального источника Котельниковский (оз. Байкал) // Изв. РАН: серия биологическая. № 6. С. 664–671.
- Брагин И.В., Челноков Г.А. 2009.** Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект // Вестник ДВО РАН. № 4. С. 147–151.
- Водоросли. Справочник. 1989.** Киев: Наукова думка. 608 с.
- Данилова Э.В., Бархутова Д.Д., Брянская А.В., Намсараев З.Б., Намсараев Б.Б. 2009.** Влияние экологических условий на распределение функциональных групп микроорганизмов в минеральных источниках Хойто-Гол (Восточные Саяны) // Сибирский экол. журн. № 1. С. 45–53.
- Егоров Н.С. 1995.** Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: МГУ. 224 с.
- Кордэ Н.В. 1956.** Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // Жизнь пресных вод СССР. М., Л.: Изд-во АН СССР. Т. 4. Ч. 1. С. 383–413.
- Сладечек В. 1967.** Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука. С. 26–31.

- Чудаева В.А., Чудаев О.В. 2001.** Качество природных вод Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. № 2. С. 28–36.
- Юшакин Е.П. 1968.** Отчет об исследовании минеральных источников Приморского края // Рукопись Приморского геологического управления. Владивосток. 298 с.
- Bukhtiyarova L.N. 1999.** Diatoms of Ukraine. Inland waters. Kyiv. 133 p.
- Pantle F., Buck H. 1955.** Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas - und Wasserfach. Bd 96, N 18. 604 S.
- Sladeček V. 1986.** Diatoms as indicators of organic pollution // Hydrochim. Hydrobiol. V. 14, N 5. P. 555–566.
- Swift E. 1967.** Cleaning diatoms frustules with ultraviolet radiation and peroxide // Phycologia. V. 6, N 2/3. P. 161–163.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. 1994.** A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands // Netherlands J. Aquat. Ecol. V. 1, N 28. P. 117–133.