

**ФЛОРА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДАЧНЫХ
ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ (КАМЧАТКА, РОССИЯ)**

Т.В. Никулина, О.В. Грищенко

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
проспект «100 лет Владивостоку», 159, 690022 Владивосток, Россия.
E-mail: nikulina@ibss.dvo.ru*

Изучен видовой состав диатомовых водорослей перифитонных сообществ Дачных горячих источников. Минеральные термальные источники Дачные (или Малая долина гейзеров) расположены в южной части полуострова Камчатка и входят в состав Мутновского гидротермального месторождения.

Диатомовая флора обследованных в августе 2012 г. горячих ручьев представлена 75 видами, разновидностями и формами. В сообществах перифитона выявлены преобладающие по численности виды: единственный доминант *Pinnularia acidojaponica* Idei et Kobayasi и субдоминанты – *Diatoma hiemale* (Lyngbye) Heiberg, *Eunotia exigua* (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst, *Frustulia saxonica* Rabenhorst и *Pinnularia acidophila* Hofmann et Krammer.

**DIATOM FLORA OF DACHNYE THERMAL SPRINGS
(KAMCHATKA PENINSULA, RUSSIA)**

T.V. Nikulina, O.V. Grishchenko

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far East Branch of the Russian
Academy of Sciences, 100 let Vladivostoku 159, 690022 Vladivostok, Russia.
E-mail: nikulina@ibss.dvo.ru*

Mineral thermal springs Dachnye are located in the southern part of the Kamchatka Peninsula and are a part of the Mutnovsky hydrothermal deposit. Diatom species composition of periphyton communities of the Dachnye hot springs has been studied.

Diatom flora of the hot streams investigated in August 2012 is represented by 75 species, varieties and forms. The only dominant *Pinnularia acidojaponica* Idei et Kobayasi and subdominants *Diatoma hiemale* (Lyngbye) Heiberg, *Eunotia exigua* (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst, *Frustulia saxonica* Rabenhorst and *Pinnularia acidophila* Hofmann et Krammer are identified as the prevailing species by abundance in the periphyton communities.

Введение

На крайнем северо-востоке Российской Федерации расположен Камчатский полуостров – уникальный район нашей страны. Площадь полуострова – 472,3 тыс. км², длина береговой линии с севера на восток составляет 1600 км. Уникальность этой территории заключается в особенностях ее природных ресурсов – минерально-сырьевых, агроклиматических, водных, лесных, земельных и т.д. В связи с тем, что Камчатка расположена в зоне Курило-Камчатской вулканической дуги, которая в свою очередь является составной

частью Тихоокеанского «Огненного кольца», то еще одна из особенностей Камчатки – наличие многочисленных вулканов, гейзеров и термальных источников. Горячие источники – естественное проявление вулканических областей. В 1936 г. известный ученый Б.И. Пийп составил карту наиболее крупных термальных ключей Камчатки, на ней обозначено 64 термопроявления (Пийп, 1937). В настоящее время на Камчатском полуострове насчитывают более 150 крупных выходов термальных ключей.

Одним из самых больших геотермальных месторождений в мире является Мутновское, расположенное в правых истоках р. Фальшивая, на северном склоне Мутновского вулкана. Недалеко от вулкана, в верховье реки Фальшивой, действует Мутновская ГеоЭС – одна из самых уникальных станций в мире. Вулкан Мутновский – действующий, находится в южной части полуострова Камчатка, его высота более 2000 м над уровнем моря. В настоящее время активность Мутновского вулкана выражена фумарольной деятельностью, при которой выделяется огромное количество энергии в виде выбросов вулканических газов и образования множества горячих источников.

Дачные горячие источники – наиболее крупная группа комплекса Мутновских источников. Дачные источники представляют собой активное фумарольное поле, горячие газы которого проходят сквозь воды холодных ручьев, нагревают их и изредка создают эффект фонтанирования.

Сведения о водорослях горячих источников полуострова Камчатка известны с конца XVIII века из работ С. Шмидта, Р. Гутвинского, А.А. Еленкина и Дж.Б. Петерсена (Schmidt, 1885; Gutwinski, 1891; Еленкин, 1914; Petersen, 1946), но информация о современных исследованиях диатомовой флоры изложена в немногочисленных публикациях. В работе японских и российских авторов описаны диатомовые сообщества пяти горячих источников (Кипелье, Тумрок, Киреунские и расположенные в бассейнах рек Саван и Ходутка) (Yoshitake et al., 2008). Данные о диатомовой флоре Малкинских, Начикинских и Верхне-Паратунских горячих источников представлены в работах Т.В. Никулиной с соавторами (2015, 2016) и Е.Г. Калитиной с соавторами (2015).

Цель нашего исследования – идентифицировать видовой состав диатомовых сообществ, выявить комплексы доминирующих таксонов и провести эколого-географический анализ выявленной альгофлоры Дачных горячих источников.

Материалы и методы

Пробы водорослей перифитона были отобраны из термопроявлений трех участков Дачных горячих источников в июле–августе 2012 г. (рис. 1). Пробы водорослей перифитона отбирали по общепринятым методикам (Голлербах, Полянский, 1951) и фиксировали 4 %-м раствором формальдегида. Для определения видовой принадлежности диатомовых водорослей были изготовлены постоянные препараты методом прокаливания створок диатомей 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). Частоту встречаемости видов водорослей определяли по шестибалльной шкале (Кордэ, 1956). При составлении эколого-географической характеристики флоры водорослей использовали литературные данные об экологии и распространении водорослей: Sladeček, 1986; Van Dam et al., 1994; Баринаева и др., 2006.

Описание станций отбора проб в местах термопроявлений Дачных горячих источников

Активная группа.

Станция 1 – ручей без названия № 1, стекающий по отвесной скале рядом с гейзером. Ширина ручья – около 1 м; глубина – менее 0,05 м. Грунт – скальные обнажения. Температура воды >40 °С.

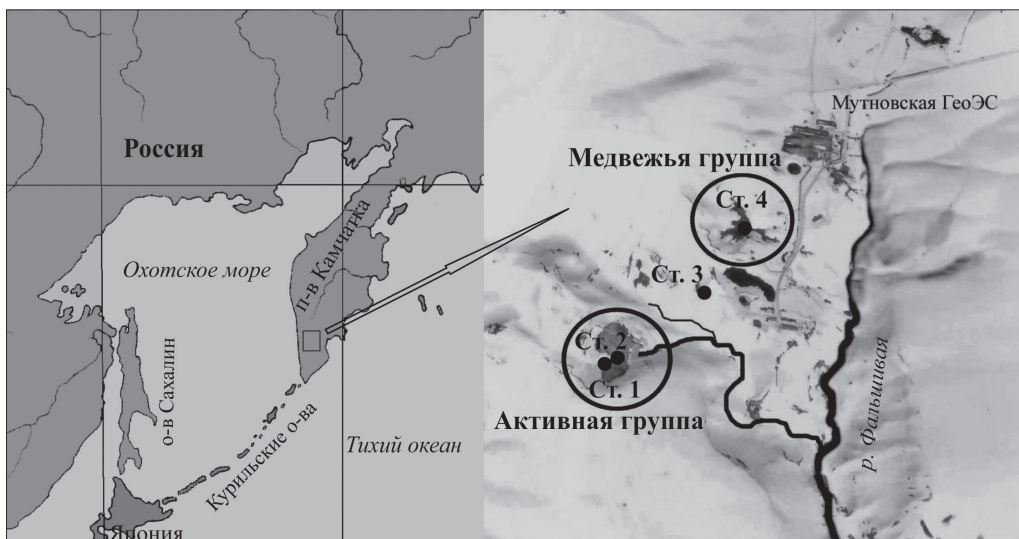


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб на территории Дачных горячих источников.

Станция 2 – ручей без названия № 2. Ширина ручья – около 1 м; глубина – 0,1 м. Грунт – мелкие и средние камни на глинистой подложке. Температура воды $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Промежуточное местоположение между Активной и Медвежьей группами.

Станция 3 – ручей без названия № 3, стекающий со склона в 150 м от гостиницы ГеоТЭС. Ширина ручья – 0,5 м; глубина – до 0,1 м. Грунт – мелкие и средние камни. Температура воды $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Медвежья группа.

Станция 4 – ручей без названия № 4, протекающий по термальному болоту. Ширина ручья – около 1,5 м; глубина – 0,1–0,15 м. Грунт – мелкие и средние камни на глинисто-песчаной подложке. Температура воды $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Согласно литературным данным, воды различных участков Дачных горячих источников имеют непостоянный химический состав и низкую общую минерализацию (от 0,12 до 0,70 г/л). Например, источники Активной группы имеют кислую реакцию среды, являются сульфатно-натриевыми, т.к. в ее водах среди основных катионов отмечается преобладание Na^+ над Ca^+ , а в анионной части – SO_4^{2-} над Cl^- . Для Медвежьей группы характерны хлоридно-натриевые воды с преобладанием щелочей (Na^+ и K^+) над Ca^+ , а среди анионов – Cl^- (Чудаев и др., 2000).

Результаты

Диатомовая флора термопроявлений трех участков Дачных горячих источников, обследованных в июле–августе 2012 г., представлена 75 видами, разновидностями и формами водорослей из классов Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae и Bacillariophyceae. Кроме диатомей отмечены еще пять видов водорослей – *Cosmarium undulatum* Corda (Chlorophyta), *Lyngbya major* Meneghini ex Gomont, *Nostoc microscopicum* Carmichael, *N. paludosum* Kützing ex Bornet et Flahault и *Phormidium uncinatum* (C. Agardh) Gomont ex Gomont (Cyanobacteria) (табл. 1, 2).

Наиболее разнообразно представлен класс Fragilariophyceae, который включает 59 внутривидовых таксонов, что составляет 78,7 % от общего числа диатомовых водорослей. В систематической структуре флоры к числу ведущих отнесены роды, содержащие максимальное количество видов и разновидностей: *Pinnularia* – 17, *Eunotia* – 9 и *Nitzschia* – 7.

Таблица 1

Таксономический состав альгофлоры Дачных термальных источников, июль-август 2015 г.

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид, разновидность, форма
Суанобактерия [=Суанопрокариота]	1	2	2	4	4
Вациллариифиты	3	10	18	25	75
Хлорофиты	1	1	1	1	1
Итого	5	13	21	30	80

Диатомовая флора перифитонных сообществ обследованных нами горячих источников включает умеренное количество видов. В гидротермах Активной группы обнаружен 51 вид диатомовых водорослей и четыре представителя из отдела Суанобактерия (в безымянных ручьях № 1 и № 2 идентифицировано 43 и 23 вида, соответственно), в источнике Медвежьей группы (безымянный ручей № 4) – 41 вид диатомовых и 1 вид зеленых водорослей, а в безымянном ручье № 3 – 32 таксона диатомей. Следует отметить, что при температуре воды более 50 °С (в безымянном ручье № 2) видовой состав водорослевых сообществ значительно обедняется по сравнению с другими водотоками.

В альгосообществах выявлены преобладающие по численности виды: единственный доминант *Pinnularia acidojaponica* (частота встречаемости 6 – «масса») и субдоминанты – *Diatoma hiemale*, *Eunotia exigua*, *Frustulia saxonica* и *Pinnularia acidophila* (частота встречаемости 4–5 – «часто»–«очень часто»).

Вид *Pinnularia acidojaponica* в 2001 г. был описан японскими исследователями из экстремальных местообитаний Японии – ручьев с кислой реакцией среды и рек с высоким органическим загрязнением вод (Idei, Mayama, 2001). Позднее этот вид был выявлен в перифитонных альгосообществах термальных источников Курильских островов и Сахалина (Никулина, 2010; Nikulina, Kosiolek, 2011).

Для *P. acidojaponica* Дачных горячих источников Камчатки выявлены небольшие отличия в морфологических характеристиках створки от описанных для особей из типичных мест обитания. Авторами вида в описании створок *P. acidojaponica* приводятся следующие размеры: длина 24–62 μm , ширина 5–8 μm , количество штрихов 12–16 в 10 μm (Idei, Mayama, 2001). Для водорослей данного вида из Дачных гидротерм характерны более короткие и широкие створки с размерами: длина 20–52 μm , ширина 5–12 μm , количество штрихов 12–14 в 10 μm . Кроме того, отмечены нехарактерные формы образования колоний (?) – столбчатой (или в виде поленницы) и округлой форм с различным количеством клеток в них (рис. 2А, Б; рис. 3). Из литературных источников известно, что

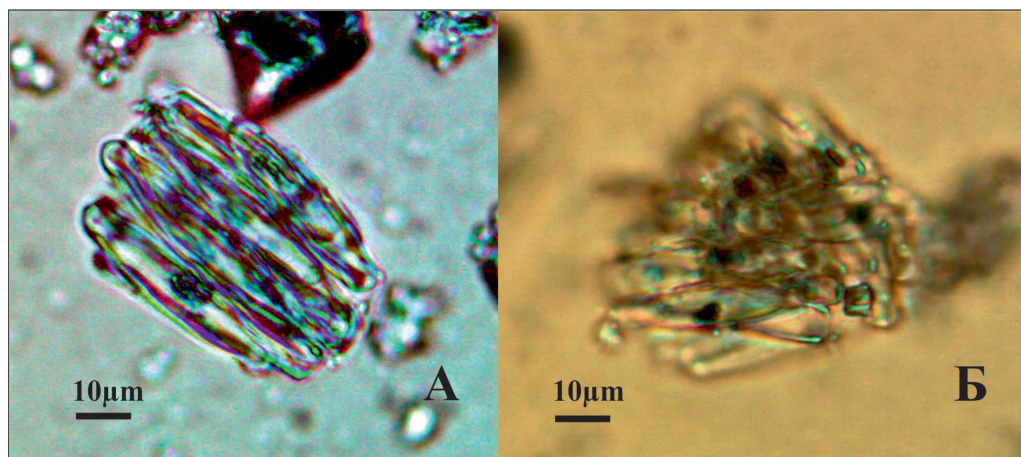


Рис. 2. «Колония» *Pinnularia acidojaponica* столбчатой (или в виде поленницы) формы, А – со стороны шва и песка, Б – со стороны конца створки.

Таблица 2

Видовой состав диатомовых водорослей Дачных термальных источников, июль-август 2015 г.

№	Таксон	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Эколого-географическая характеристика				
						Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
Bacillariophyta										
Класс Coscinodiscophyceae										
Порядок Aulacoseirales										
Семейство Aulacoseiraceae										
1	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	-	-	-	1	P	i	alf	α - β	k
2	<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	-	-	1	1	P	i	alf	β	k
3	<i>A. italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	-	-	-	1	B-P	i	i	β -o	k
Класс Fragilariophyceae										
Порядок Fragilariales										
Семейство Fragilariaceae										
4	<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J.B. Petersen	-	1	2	1	E	i	alf	β	k
5	<i>Synedrella parasitica</i> (W. Smith) Round et Maidana	1	-	-	-	B	i	alf	χ	k
6	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	-	-	1	-	B	i	alf	β - α	k
Семейство Diatomaceae										
7	<i>Diatoma anceps</i> (Ehrenberg) Kirchner	1	1	1	1-2	B	hb	alf	o- χ	a-a
8	<i>D. hiemale</i> (Lyngbye) Heiberg	2-3	1	2	3-4	B	hb	i	χ	a-a
9	<i>D. mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	1	-	-	-	B	hb	alf	χ	a-a
10	<i>D. vulgare</i> Bory	-	-	-	1	B-P	i	i	β - α	k
11	<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck	1	-	2	3	B	hb	alf	χ -o	k
Класс Bacillariophyceae										
Порядок Eunotiales										
Семейство Eunotiaceae										
12	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills	-	-	1	-	B	i	acf	β	k
13	<i>E. crista-galli</i> Cleve	1	-	-	-	B	i	acf	-	a-a
14	<i>E. diodon</i> Ehrenberg	1	-	-	-	B	i	acf	o- χ	a-a
15	<i>E. exigua</i> (Brébisson) Rabenhorst	4	3-4	3-4	3	B	i	acf	χ	k
16	<i>E. glacialis</i> Meister	1	-	-	-	B	-	acf	ρ	k
17	<i>E. implicata</i> Nörpel, Lange-Bertalot & Alles	-	1	1	-	B	-	-	-	-
18	<i>E. microcephala</i> Krasske	1	-	-	1	B	i	acf	o	-
19	<i>E. praeurupta</i> Ehrenberg	-	-	-	1	B	hb	acf	χ	k
20	<i>E. soleirollii</i> (Kützing) Rabenhorst	1	1	-	-	B	-	acf	-	-
Порядок Cymbellales										
Семейство Cymbellaceae										
21	<i>Cymbella amplificata</i> Krammer	-	-	1	-	B	-	-	-	-
22	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse ex Rabenhorst) Mann	-	-	1	1	B	oh	i	o- β	k
23	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch in Rabenhorst) D.G. Mann	1	1	2	1	B	i	alf	α	k
Семейство Gomphonemataceae										
24	<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	1	1	1	-	B	i	alf	o	b
25	<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	1	1	1	1	B	i	alf	β	b
Порядок Achnanthes										
Семейство Achnantheaceae										
26	<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	-	-	-	1	B	i	alf	β	k
Семейство Achnanthidiaceae										
27	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	-	-	1	-	B	i	i	o- β	b
28	<i>Planothidium ellipticum</i> (Cleve) Edlund	-	-	1	1	B	i	alf	-	a-a
29	<i>P. haynaldii</i> (Schaarschmidt) Lange-Bertalot	1	-	1-2	2	B	i	alf	χ - β	k
30	<i>P. lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	-	1	1	2	B	i	alf	χ - β	k

Окончание табл. 2

№	Таксон	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Эколого-географическая характеристика				
						Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
63	<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt	-	1	1	1	B	i	alb	o	k
64	<i>N. dissipata</i> (Kützing) Grunow	1	-	-	-	B	i	alf	o-β	b
65	<i>N. fonticola</i> Grunow	-	1	-	-	B	i	alf	o	b
66	<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow	1	-	-	-	B	hl	alb	o	k
67	<i>N. nana</i> Grunow	1	-	1	1	B	mh	-	-	b
68	<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	3	-	1	2	B	i	i	α	k
69	<i>N. paleacea</i> (Grunow) Grunow	1	-	-	-	B-P	i	alf	β	k
	Порядок Rhopalodiales									
	Семейство Rhopalodiaceae									
70	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	-	-	-	1	B	i	alb	β	k
71	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	-	-	1	-	B	i	alb	χ-o	k
	Порядок Surirellales									
	Семейство Surirellaceae									
72	<i>Surirella angusta</i> Kützing	1	-	1	-	B-P	i	alf	o	k
73	<i>S. linearis</i> W. Smith	1-2	-	-	1	B-P	i	i	o-β	k
74	<i>S. minuta</i> Brébisson	1	1	1	1	B	i	alf	-	b
75	<i>S. robusta</i> Ehrenberg	1	-	-	-	B-P	hb	i	β-o	k

Примечание: Частота встречаемости организмов указана по шестибальной шкале: 1 – единично, 2 – редко, 3 – нередко, 4 – часто, 5 – очень часто, 6 – масса (Кордэ, 1956). Местообитание: P – планктонные, B-P – бентосно-планктонные, B – бентосные, E – эпифитные. Галобность: mh – мезогалобы, hl – галофилы, hb – галофобы, i – индифференты. Отношение к pH: alf – алкалифилы, alb – алкалибионты, acf – ацидофилы, i – индифференты. Сапробность: χ – ксеносапробионт, χ-o – ксено-олигосапробионт, o-χ – олиго-ксеносапробионт, χ-β – ксено-бетамезосапробионт, o – олигосапробионт, o-β – олиго-бетамезосапробионт, β – бета-мезосапробионт, β-o – бета-олигосапробионт, β-α – бета-альфамезосапробионт, α – альфа-мезосапробионт; «-» – нет данных.

Таблица 3

Распределение диатомовых водорослей Дачных термальных источников по экологическим группам, июль-август 2015 г.

Экологическая группа	Количество таксонов	Процентное соотношение	Экологическая группа	Количество таксонов	Процентное соотношение
Местообитание			Отношение к pH		
бентосные	64	85,3	алкалибионты	6	8
планктонные	2	2,7	алкалифилы	26	34,7
бентосно-планктонные	8	10,7	индифференты	13	17,3
эпифитные	1	1,3	ацидофилы	14	18,7
бентосно-эпифитные	-	-	нет данных	16	21,3
нет данных	-	-	Всего:	75	100
Всего:	75	100			
Галобность			Географическое распространение		
мезогалобы	2	2,7	космополиты	35	46,7
галофилы	3	4,0	бореальные	11	14,7
индифференты	40	53,3	аркто-альпийские	10	13,3
галофобы	11	14,7	нет данных	19	25,3
нет данных	19	25,3	Всего:	75	100
Всего:	75	100			

Соотношение индикаторных видов диатомовых водорослей Дачных термальных источников по степени сапробности, июль-август 2015 г.

	Сапробиологическая группа	Степень сапробности видов-индикаторов	Количество таксонов	Количество таксонов	% от общего числа таксонов
1.	Ксеносапробионты (S=0–0,50)	χ	6	8	10,7
		χ-о	2		
2.	Олигосапробионты (S=0,51–1,50)	о-χ	3	29	38,7
		χ-β	3		
		о	14		
		о-β	9		
3.	Бетамезосапробионты (S=1,51–2,50)	β-о	2	13	17,3
		о-α	0		
		β	9		
		β-α	2		
4.	Альфамезосапробионты (S=2,51–3,50)	α-β	1	3	4,0
		β-ρ	0		
		α	2		
		α-ρ	0		
5.	Полисапробионты (S=3,51–4,50)	ρ-α	0	1	1,3
		ρ	1		
	Нет данных	-	21	21	28
	Всего:			75	100

род *Pinnularia* характеризуется одиночными свободно передвигающимися клетками, либо образованием лентовидных колоний.

Анализ диатомовой флоры Дачных термальных источников Камчатки показал, что большинство найденных водорослей относятся к обитателям бентоса (85,3 % от общего количества идентифицированных видов), по отношению к солености – к группе индифферентов (53,3 %), по отношению к pH среды – к группе алкалофильных видов (34,7 и 18,7 %, соответственно) (табл. 3). Географическое распространение: максимальная доля принадлежит широко распространенным или космополитным видам – 46,7 % (табл. 3). В диатомовой флоре Дачных источников как показатели степени сапробности воды наиболее представлены олиго- и бетамезосапробионты – 38,7 и 17,3 %, соответственно (табл. 4).



Рис. 3. «Колония» *Pinnularia acidojaponica* округлой формы.

Таким образом, альгосообщества Дачных термальных источников в основном состоят из водорослей холодных вод, приспособившихся к высоким температурам. При температуре воды более 50 °C видовой состав водорослевых сообществ значительно обедняется. В гидротермах отмечены виды *Pinnularia acidojaponica* и *P. acidophila*, являющиеся истинными термофилами или характерными представителями горячих источников. В диатомовой флоре преобладают бентосные, индифферентные к солености, алкалофильные, олиго- и бетамезосапробионные, широко распространенные виды.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта № 15-И-6-069 (рук. чл.-корр. РАН В.В. Богатов) целевой программы «Дальний Восток».

Литература

- Барнинова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское издательство Piles Studio. 498 с.
- Голлербах М.М., Полянский В.И. 1951. Общая часть. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1. М.: Советская наука. 200 с.
- Еленкин А.А. 1914. Пресноводные водоросли Камчатки // Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского. Ботанический отдел. Вып. II. Споровые растения Камчатки: 1) водоросли, 2) грибы. М.: типография П.П. Рябушинского. 612 с.
- Калитина Е.Г., Никулина Т.В., Харитоновна Н.А., Вах Е.А. 2015. Материалы к изучению разнообразия микроорганизмов в термальных источниках Камчатки (Россия) // Материалы Всероссийской конф. с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы. Томск, 23–27 ноября 2015 г. Томск. С. 510–513.
- Кордо Н.В. 1956. Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // Жизнь пресных вод СССР. Т. 4. Ч. 1. М., Л.: Изд-во АН СССР. С. 383–413.
- Никулина Т.В. 2010. Водоросли горячих источников Курильских островов (Россия) // Альгология. Т. 20, № 3. С. 334–356.
- Никулина Т.В., Калитина Е.Г., Вах Е.А., Харитоновна Н.А. 2015. Бактерии и диатомовые водоросли Малкинских, Начикинских и Верхне-паратунских термальных источников (Камчатка, Россия) // Всероссийская научная конф. с международным участием «Современное состояние и методы изучения экосистем внутренних водоемов», посвященная 100-летию со дня рождения Игоря Ивановича Куренкова. Петропавловск-Камчатский, 7–9 октября 2015г. Петропавловск-Камчатский. С. 104–110.
- Никулина Т.В., Калитина Е.Г., Вах Е.А., Харитоновна Н.А. 2016. Список диатомовых водорослей трех термальных источников Камчатки – Малкинских, Начикинских и Верхне-паратунских (Россия) // Жизнь пресных вод. Т. 2. С. 108–115.
- Пийп Б.И. 1937. Термальные ключи Камчатки. М-Л: Изд-во Академии наук СССР. 265 с.
- Чудаев О.В., Чудаева В.А., Карпов Г.А., Эдмунд У.М., Шанд П. 2000. Геохимия вод основных геотермальных районов Камчатки. Владивосток: Дальнаука. 162 с.
- Gutwinski R. 1891. Algarum e lacu Baykal et e peninsula Kamtschatka clariss. prof. Dr. B. Dybowski anno 1877 repertarum enumeratio et diatomacearum lacus Baykal cum iisdem taticorum, italicorum atque franco-gallicorum lacuum comparatio // Nuova Not. S. 2. P. 1–27, 300–305, 357–466, 407–417.
- Idei M., Mayama S. 2001. *Pinnularia acidojaponica* M. Idei et H. Kobayasi sp. nov. and *P. valdetolerans* Mayama et H. Kobayasi sp. nov. – new diatom taxa from Japanese extreme environments // Lange-Bertalot-Festschrift: Studies on Diatoms. Dedicated to Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Lange-Bertalot on the occasion of his 65th Birthday. A.R.G. Gantner Verlag. K.G. P. 265–277.
- Nikulina T.V., Kociolek J.P. 2011. Diatoms from hot springs from Kuril and Sakhalin Islands (Far East, Russia) // The Diatom World. London, New York: Springer. P. 333–363.
- Petersen J.B. 1946. Algae collected by Eric Hultén on the Swedish Kamtschatka Expedition 1920-22, especially from hot springs // Det Kgl. Danske Vidensk. Selskab, Biol. Meddel. V. 20, N 1. 120 p.
- Schmidt C. 1885. Hydrologische Untersuchungen. XLIV. Die Thermalwasser Kamtschatka's. St. Pétersbourg: Mémoire de l'Académie Impériale des Sciences. S. VII. T. XXXII. N 18. 29 p.
- Sládeček 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.
- Yoshitake S., Fukushima H., Lepskaya E.V. 2008. The diatom flora of some hot springs in Kamchatka, Russia // Proceedings of the 19 International Diatom Symposium. Bristol: Biopress Ltd. P. 151–168.