

УДК 550.72:579.266(571.642)

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ БАКТЕРИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП В МИКРОБНЫХ МАТАХ МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСТРОВА САХАЛИН (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)

¹Лебедева Е.Г., ²Харитоновна Н.А., ¹Челноков Г.А., ¹Брагин И.В.¹ФГБУ «Дальневосточный геологический институт ДВО РАН», Владивосток,
e-mail: microbiol@mail.ru;²ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва

Исследован физико-химический состав, а также распространение, состав, структура и численность различных эколого-трофических групп бактерий в микробных матах минеральных источников о. Сахалин. Показано, что доминирующим катионом в минеральных водах является натрий, из анионов преобладают гидрокарбонат и хлор-ионы. В микроэлементном составе изученных вод преобладают кремний, йод, бор, железо и стронций. В микробных матах холодных и термальных источников установлена достаточно высокая численность бактерий различных физиологических групп и их низкое биоразнообразие. В матах холодных слабосероводородных азотно-метановых вод отмечено бурное развитие бактерий цикла серы и углерода. В цикле серы преобладали бесцветные серобактерии рода *Thiotrix sp.* и сульфатредуцирующие микроорганизмы, в цикле углерода наибольшей численности достигали сапрофитные бактерии. В матах термального источника Александровский отмечено развитие многих эколого-трофических групп бактерий, при этом значительно преобладали микроорганизмы цикла углерода и азота. В цикле углерода выявлено доминирование сапрофитных, гидротермальных и метаногенных бактерий. Присутствие метаногенов в пробах мата свидетельствует о происходящих в источниках процессах биогенного образования метана. В цикле азота преобладали аммонифицирующие, денитрифицирующие бактерии и гетеротрофные нитрификаторы, что указывает на происходящие в матах процессы разложения азотсодержащих органических веществ. В цикле железа и марганца в микробных матах термального источника отмечена наибольшая численность марганцевосстанавливающих и железокисляющих гетеротрофных бактерий. Выделенные гетеротрофные бактерии формировали светло-серые, бежевые и молочного цвета плоские колонии и были представлены в большинстве спорообразующими, грамположительными, подвижными палочками различной длины. Выделенные изоляты были в основном представлены бактериями рода *Bacillus sp.*

Ключевые слова: бактерии, микробный мат, численность, минеральные источники, Сахалин, эколого-трофические группы, химический состав

CHEMICAL COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF BACTERIA OF VARIOUS ECOLOGICAL-TROPHIC GROUPS IN MICROBIAL MATS OF MINERAL SPRINGS OF SAKHALIN ISLAND (FAR EAST OF RUSSIA)

¹Lebedeva E.G., ²Kharitonova N.A., ¹Chelnokov G.A., ¹Bragin I.V.¹Far East geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: microbiol@mail.ru;²Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow

The physico-chemical composition, distribution, composition, structure and abundance of various ecological-trophic groups of bacteria in the microbial mats of the mineral springs of Sakhalin Island were studied. It was shown that sodium is the dominant cation in mineral waters, and bicarbonate and chlorine ions predominate from the anions. Silicon, iodine, boron, iron and strontium prevail in the trace element composition of the studied waters. In the microbial mats of cold and thermal springs, a sufficiently high number of bacteria of various physiological groups and their low biodiversity are established. In the mats of cold weakly hydrogen-sulphide nitrogen-methane waters, rapid development of bacteria of the sulfur and carbon cycle was noted. In the sulfur cycle, colorless serobacteria of the genus *Thiotrix sp.* and sulfate-reducing microorganisms. In the carbon cycle, saprophytic bacteria reached the highest numbers. In the mats of the thermal spring Aleksandrovsky, the development of many ecological and trophic groups of bacteria was noted. In this case, the microorganisms of the carbon and nitrogen cycles predominated significantly. In the carbon cycle, the dominance of saprophytic, hydrolytic and methanogenic bacteria was revealed. The presence of methanogens in samples of mat indicates the processes of biogenic formation of methane in the sources. Ammonifying, denitrifying bacteria and heterotrophic nitrifying agents prevailed in the nitrogen cycle, which indicates the decomposition of nitrogen-containing organic substances in mats. In the cycle of iron and manganese in the microbial mats of the thermal source, the largest number of manganese-reducing and iron-oxidizing heterotrophic bacteria was noted. The isolated heterotrophic bacteria formed light gray, beige and milky-colored flat colonies and were mostly represented by spore-forming, gram-positive, motile rods of various lengths. Isolated bacteria were mainly represented by microorganisms of the genus *Bacillus sp.*

Keywords: bacteria, microbial mat, number, mineral springs, Sakhalin, ecological and trophic groups, chemical composition

Сахалин является самым крупным островом России. Минеральные подземные воды широко распространены на всей территории острова Сахалин и представлены как глубинными водами, вскрытыми скважинами, так и естественными холодными

и термальными минеральными источниками. Наиболее крупные месторождения и проявления расположены в пределах Северо-Сахалинского гидрогеологического бассейна напорных вод (Дагинское месторождение гидротерм, Лунские и Паромайские термальные источники). Химический состав подземных вод Сахалина изучен сравнительно слабо, наибольший вклад в его исследования в разные годы внесли В.В. Иванов, Н.Д. Цитенко, М.А. Штейн, И.Г. Завадский, Т.С. Розорителева и др. [1–3]. Известно, что минеральные источники являются естественной средой обитания различных микроорганизмов. Бактерии в воде и в биоматах, образующихся в местах выхода минеральных вод, играют важную роль в функционировании экосистем, осуществляя процессы продукции и деструкции органического вещества, участвуя в геохимических циклах элементов [4–5]. Однако распространение бактерий различных эколого-трофических групп в микробных матах минеральных источников о. Сахалин ранее не было изучено.

Цель исследования: исследовать физико-химический состав вод, а также изучить распространение, состав, структуру и численность различных физиологических групп бактерий в микробных матах минеральных источников острова Сахалин.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись холодные минеральные воды Антоновские и Невельские (температура 8,0–10,0 °С), расположенные в западной части о. Сахалин, и термальные минеральные воды Дагинского месторождения (источник Александровский, 45,2 °С), расположенные в северо-восточной части острова, недалеко от п. Горячие ключи. Во всех изученных минеральных водах на выходе отмечено формирование микробных матов. В Антоновских источниках отобрано два типа микробных матов (А1В, А14). Пробы минеральных вод и микробных матов отбирали, соблюдая условия стерильности, в стеклянные бутылки и пластиковые емкости объемом 200 мл в трех повторностях. Отбор проб осуществляли в июне 2015 г. Часть проб фиксировали на месте с добавлением 40% формалина. Остальную часть хранили не более 12 ч в холодильнике, затем анализировали в лаборатории. Нестабильные показатели химического состава (рН, температура) измерялись непосредственно на месте. Водные пробы для анализа анионов и катионов фильтровали

через мембранные фильтры (нитрат целлюлозы, 0,45 μm , Sartorius) на месте отбора для удаления взвеси и затем были подкислены азотной кислотой. Химический анализ проб выполнен на базе аналитического центра ДВГИ ДВО РАН.

Для выявления и культивирования бактерий использовали традиционные методы практической микробиологии [6]. Численность различных эколого-трофических групп бактерий определяли методом предельных разведений и методом Коха. Количество различных физиологических групп бактерий определяли на специально подобранных селективных средах [7]. Микроорганизмы выращивали в термостате при температуре 25 °С и 45 °С. Анаэробные формы бактерий культивировали в анаэро-стате с использованием газогенерирующих пакетов BD GasPak EZ. Морфологию, размеры, подвижность выделенных чистых культур исследовали с использованием светового микроскопа AxioStar plus (Carl Zeiss, Германия). Тип клеточной стенки бактерий определяли по Граму [8]. Идентификацию микроорганизмов до рода проводили согласно определителю Берджи [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования химического состава минеральных вод показали, что Антоновские и Невельские источники характеризовались низкой температурой (8–10 °С), различным рН, преобладанием в составе катионов натрия, в составе анионов – гидрокарбонат-, хлор- и сульфат-ионов. В микроэлементном составе вод преобладали кремний, бор, йод и стронций (табл. 1). Воды Александровского источника отличались более высокой температурой (45,2 °С), нейтральным рН, высокой минерализацией (1,67 г/л). В составе катионов преобладал натрий, в составе анионов – хлор и гидрокарбонат-ионы. Воды были значительно обогащены кремнием, йодом, бором и железом (табл. 1). В газовом составе источников преобладал метан (69%), азот (29%) и сероводород (1,1%).

Результаты микробиологических исследований показали, что в обследованных микробных матах отмечена довольно высокая численность функциональных групп бактерий, которая варьировала от 0 до $4,8 \times 10^8$ кл/см³. В микробных матах Антоновского и Невельского источников значительно преобладали бактерии цикла серы и углерода (табл. 2).

Таблица 1

Физико-химический состав минеральных вод о. Сахалин

Точки отбора	t, °C	pH	Na	Ca	Mg	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	F
			г/л							
1	10	9,1	0,067	0,005	0,0005	0,0003	0,032	0,016	0,11	0,0002
2	8	6,5	0,091	0,0115	0,0023	0,0009	0,065	0,034	0,116	0,0001
3	45,2	6,53	0,587	0,0198	0,0013	0,0045	0,709	0,001	0,405	0,0006
Точки отбора	TDS г/л	Eh mV	Fe	Mn	Si	Al	Ba	Sr	I	B
			мг/л							
1	0,25	-219	0,1	0,001	8,7	0,007	–	0,001	0,5	0,47
2	0,33	-224	0,1	0,06	10	0,01	0,001	0,16	0,01	0,76
3	1,67	-42	0,25	0,001	19,7	0,015	0,04	0,6	4,1	0,27

Примечание. 1 – Невельский источник; 2 – Антоновский источник; 3 – Александровский источник.

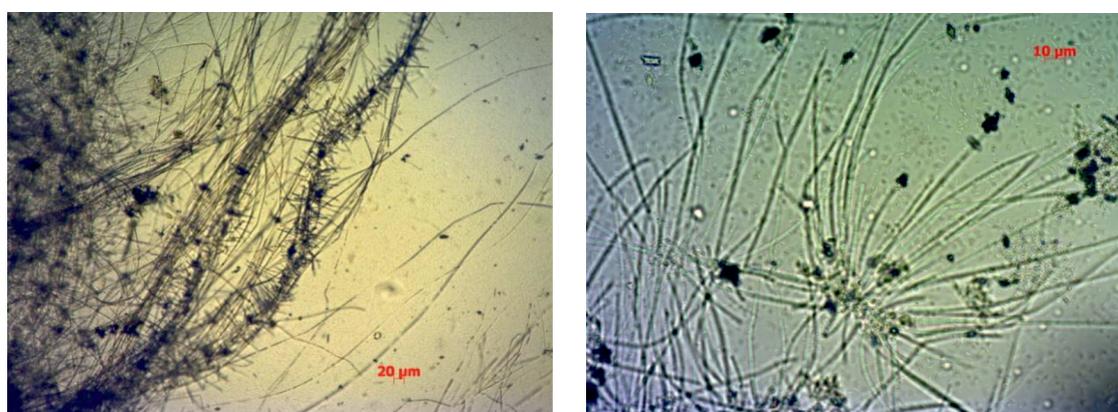


Рис. 1. Морфология нитчатых бесцветных серобактерий рода *Thiotrix sp.*, выделенных из белых матов минеральных источников Антоновский и Невельский

Количество микроорганизмов цикла серы в матах холодных сероводородных источников достигало наибольших значений, при этом во всех пробах значительно преобладали бесцветные серобактерии ($7,4 \times 10^5$ (A14) – $4,8 \times 10^8$ (Невельский) кл/см³). Бесцветные серобактерии в Антоновском и Невельском минеральных источниках формировали белые микробные маты в виде белых косм. Идентификация культур нитчатых серобактерий показала, что во всех пробах они были представлены микроорганизмами рода *Thiotrix sp* (рис. 1).

Наибольшая численность бесцветных серобактерий отмечена в минеральном источнике Невельский, который отличался более низкой минерализацией вод и более щелочными условиями (табл. 1, 2). Клетки бесцветных серобактерий на поверхности формировали белые минеральные отложения. Элементный анализ белых отложений показал, что они состоят из элементарной

серы, содержание которой достигает 99%. Биологическая роль бесцветных серобактерий в микробных матах заключается в окислении сероводорода, который поступает с вулканическими флюидами, а также из донных осадков и микробных матов в результате микробной сульфатредукции, до элементарной серы, которая накапливается в протоплазме клеток и затем окисляется до сульфатов. Образованные сульфаты восстанавливаются до сероводорода с участием анаэробных сульфатредуцирующих бактерий. Численность сульфатредуцирующих бактерий в пробах микробных матов холодных источников была достаточно высока и изменялась от $6,4 \times 10^5$ (A14) до $5,2 \times 10^6$ (Невельский) кл/см³, что подтверждает частично биогенное происхождение сероводорода. Присутствие сульфатов в составе холодных минеральных вод способствует активной деятельности сульфатредуцирующих бактерий (табл. 1). Подобное преоб-

ладание в структуре бактерий цикла серы было отмечено нами ранее в углекислых минеральных водах Приморья [10]. Кроме бесцветных серобактерий в окислении сероводорода участвуют хемолитоавтотрофные тионовые бактерии, которые окисляют его до элементарной серы, которую откладывают снаружи клетки. Тионовые бактерии были отмечены только в матах Антоновского источника ($1,8-4,7 \times 10^4$ кл/см³), где количество бесцветных серобактерий было ниже (табл. 2).

Таким образом, показан вклад бактерий цикла серы в образование и окисление сероводорода и сульфатов в холодных минеральных источниках о. Сахалина. В цикле углерода в микробных матах холодных минеральных источников Антоновский и Невельский принимали участие различные эколого-трофические группы бактерий (табл. 2). Численность бактерий варьировалась от 0 до $2,7 \times 10^6$ кл/см³, при этом значительно преобладали сапрофитные микроорганизмы, что указывает на происходящие процессы деструкции органического вещества в микробных матах. В пробе мата А14 Антоновского источника, отличающегося присутствием грунтов, отмечены анаэробные метанообразующие бактерии, численность которых была невысока и составляла $5,6 \times 10^2$ кл/см³. Метанообразующие бактерии осуществляют конечный этап анаэробного разрушения органических веществ, и их присутствие в минеральных водах свидетельствует о наличии органических веществ и анаэробной обстановке. Меньше всего в микробных матах холодных минеральных источников были представлены бактерии цикла железа и марганца, что связано с низким содержанием этих элементов в подземных водах (табл. 1, 2).

В микробных матах термальных вод Александровского термального источника (Дагинское месторождение) преобладали бактерии цикла углерода и азота (табл. 2). Количество микроорганизмов цикла углерода в матах терм варьировало от $1,0 \times 10^3$ до $3,7 \times 10^6$ кл/см³, при этом значительно преобладали анаэробные формы сапрофитных бактерий. На начальных этапах деструкции главную роль играют микроорганизмы-гидролитики, разлагающие полимерные соединения. Доминирующими были целлюлозоразлагающие бактерии, их численность достигала $7,2 \times 10^4$ кл/см³, что указывает на протекание процессов разложения целлюлозы в матах. Также в мате терм были отмечены достаточно высокие

количества метанообразующих бактерий, которые составляли $8,4 \times 10^4$ кл/см³. Метаногены являются облигатно анаэробными микроорганизмами и получают энергию для роста от двуокиси углерода, водорода и ацетатов, которые образуются в результате деятельности комплекса сапрофитных, гидролитических, ферментативных, ацетогенных микроорганизмов [11, 12]. Присутствие метаногенов в пробах мата свидетельствует о происходящих в источниках процессах биогенного образования метана. Изотопные данные, полученные ранее в этих водах, подтверждают биогенный характер метана из термальной зоны Даги [2]. В цикле азота доминировали аммонифицирующие, денитрифицирующие бактерии и гетеротрофные нитрификаторы, что указывает на происходящие в матах процессы разложения азотсодержащих органических веществ (табл. 2). В цикле железа и марганца в микробных матах термального источника Александровский отмечена достаточно высокая численность анаэробных марганцевосстанавливающих и железooksисляющих бактерий, количество которых составляло $7,0 \times 10^2$ кл/см³, что совпадало с более высоким содержанием железа в этих водах (табл. 1). Наименее были развиты микроорганизмы геохимического цикла серы.

Из накопительных культур микробных матов минеральных источников о. Сахалин были выделены чистые штаммы термофильных, мезофильных и психрофильных бактерий. Среди выделенных гетеротрофных микроорганизмов преобладали колонии светло-серого, бежевого и молочного оттенка, лишенные пигмента (рис. 2, а–в).

Микроскопирование колоний показало, что бактерии, выделенные из микробных матов минеральных источников Антоновский и Невельский, были в основном представлены грамположительными достаточно крупными спорообразующими палочками (1,57–1,95 мкм длина; 0,86–0,98 мкм ширина), а также грамотрицательными короткими палочками разной длины (0,25–0,61 мкм длина; 0,31–0,39 мкм ширина). Микроорганизмы, выделенные из матов термальных вод Александровский, были в основном представлены грамположительными, спорообразующими, преимущественно подвижными палочками размерами 1,65–2,41 мкм длина; 0,91–0,99 мкм ширина и крупными нитевидными спорными палочками 3,67–7,66 мкм в длину. По типу питания большинство штаммов относятся к хемоорганотрофам.

Таблица 2

Численность различных физиологических групп бактерий в микробных матах минеральных источников о. Сахалин

Функциональные группы бактерий: (кл/см ³)	Антоновский источник		Невельский	Александровский
	A1B	A14		
Цикл углерода:				
Сапрофитные бактерии, аэробы	1,6×10 ⁴	3,2×10 ⁵	1,5×10 ⁵	1,7×10 ⁵
Сапрофитные бактерии, анаэробы	2,0×10 ⁵	2,7×10 ⁶	2,0×10 ⁶	3,7×10 ⁶
Протеолитические бактерии	3,5×10 ²	8,1×10 ²	6,0×10 ²	1,0×10 ³
Целлюлозоразлагающие бактерии	0	1,9×10 ²	0	7,2×10 ⁴
Метанообразующие бактерии	0	5,6×10 ²	0	8,4×10 ⁴
Цикл азота:				
Азотфиксирующие	0,7×10 ²	1,2×10 ³	0	0
Аммонификаторы	3,1×10 ²	0	0	1,2×10 ³
Автотрофные нитрификаторы	0	0	0	0
Гетеротрофные нитрификаторы	0	5,2×10 ⁴	0	6,0×10 ⁴
Денитрифицирующие	0	0	0	3,2×10 ⁴
Цикл серы:				
Тионовые	4,7×10 ⁴	1,8×10 ⁴	0	0
Сульфатредуцирующие	6,4×10 ⁵	1,2×10 ⁶	5,2×10 ⁶	1,6×10 ²
Бесцветные серобактерии	9,5×10 ⁶	7,4×10 ⁵	4,8×10 ⁸	0
Цикл железа, марганца:				
Железоокисляющие гетеротрофы	0	0	0	7,0×10 ²
Железовосстанавливающие	0	0	0	0
Марганцеокисляющие гетеротрофы	0	0	0	0
Марганцевосстанавливающие	0	3,8×10 ³	0	2,5×10 ⁴
Цикл кремния:				
Силикатные бактерии	0	4,5×10 ⁴	9,5×10 ⁴	1,2×10 ⁴

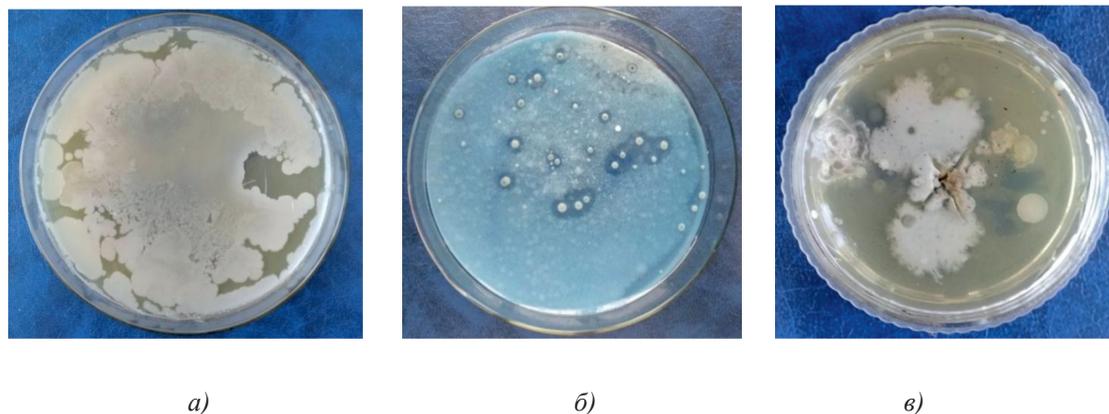


Рис. 2. Типы колоний гетеротрофных бактерий, выделенных из микробных матов минеральных источников о. Сахалин

Каталазная и оксидазная активность была отмечена у большинства штаммов. В микробных матах в целом отмечено небольшое разнообразие культивируемых форм бактерий, при этом во всех исследуемых минеральных источниках доминировали бактерии рода *Bacillus sp.* Бактерии рода

Bacillus sp. повсеместно распространены, выделяются из различных термальных источников и были изолированы нами ранее в техногенных водах и грунтах хвостохранилищ, а также в подземных высокоминерализованных водах Приморского края [13, 14].

Заключение

Проведенные исследования показали, что в минеральных водах о. Сахалин среди катионов преобладали натрий, среди анионов – гидрокарбонат и хлор-ионы, в микроэлементном составе источников преобладали кремний, йод, бор, железо и стронций. В микробных матах, формирующихся на выходах минеральных источников о. Сахалин, отмечена достаточно высокая численность различных функциональных групп бактерий, которые играют важную роль в геохимических циклах углерода, азота, серы, железа и марганца. В структуре микробных сообществ холодных вод доминировали микроорганизмы цикла серы и углерода, что указывает на происходящие процессы окисления органических веществ и восстановленных соединений серы с участием микроорганизмов. В матах термальных источников преобладали сапрофитные, метанобразующие бактерии и микроорганизмы цикла азота. Выделены чистые культуры бактерий, которые были представлены в основном грамположительными, спорообразующими подвижными палочками, из которых значительно преобладали бактерии рода *Bacillus* sp.

Список литературы / References

1. Комиссаренко Б.Т. Минеральные источники и лечебные грязи Сахалина и Курил. Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 1964. 115 с.
2. Chelnokov G.A., Bragin I.V., Kharitonova N.A. Geochemistry mineral waters and gases of the Sakhalin Island (Far East of Russia). *Journal of Hydrology*. 2018. vol. 559. P. 942–953. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.049.
3. Жарков Р.В. Современные физико-химические особенности термоминеральных вод Дагинского месторождения (о. Сахалин) // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. № 4. С. 6–11.
4. Zharkov R.V. Modern physical and chemical features thermomineral waters of the Daginsky deposit (i. Sakhalin) // *Monitoring. Science and technology*. 2018. № 4. P. 6–11 (in Russian).
5. Kashkak E.S., Belkova N.L., Danilova E.V., Dagurova O.P., Namsaraev B.B., Gorlenko V.M. Phylogenetic and functional prokaryotic diversity in the Hoito-Gol mesothermal mineral spring (Eastern Sayan Mountains, Buryat Republic). *Microbiology*. 2016. vol. 85. no. 5. P. 592–603. DOI: 10.1134/S0026261716050076.
6. Lavrentyeva E.V., Radnagurueva A.A., Barkhytova D.D., Zaitseva S.V., Namsaraev B.B., Belkova N.L., Namsaraev Z.B., Gorlenko V.M. Bacterial diversity and functional activity of microbial communities in hot springs of the Baikal rift zone. *Microbiology*. 2018. vol. 87. no. 2. P. 272–281. DOI: 10.1134/S0026261718020078.
7. Лысак В.В., Желдакова Р.А., Фомина О.В. Микробиология: практикум. Минск: БГУ, 2015. 115 с.
8. Lysak V.V., Zheldakova R.A., Fomina O.V. *Microbiology: practical*. Minsk: BGU, 2015. 115 p. (in Russian).
9. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 228 с.
10. Kuznetsov S.I., Dubinina G.A. *Methods for studying aquatic microorganisms*. M.: Nauka, 1989. 228 p. (in Russian).
11. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / Под ред. Егорова Н.С. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
12. Guide to practical classes in microbiology / ed. Egorova N.S. M.: Publishing House of Moscow State University, 1995. 224 p. (in Russian).
13. 9. Определитель бактерий Берджи / Под ред. Хоулта Д., Крига Н., Снитта П., Стейли Д., Уильямса С. в 2 т. М.: Мир, 1997. Т. 1. 432 с.
14. The determinant of bacteria Bergey / ed. Hoult D., Krig N., Snit P., Stali D., Williams S. in 2 vol. M.: Mir, 1997. V. 1. 432 p. (in Russian).
15. Kalitina E.G., Kharitonova N.A., Kuzmina T.V., Chelnokov G.A. Microorganisms in the deposits of cold carbon mineral waters of the Russian Far East and their habitats. *IOP Conf. series: Earth and environmental science*. 2018. vol. 115. P. 012033. DOI: 10.1088/1755-1315/115/1/012033.
16. Kadnikov V.V., Ravin N.V., Mardanov A.V., Beletskii A.V., Frank Y.A., Ivashenko D.A., Karnachuk O.V., Pimenov N.V. Uncultured bacteria and methanogenic archaea predominate in the microbial community of Western Siberian deep subsurface aquifer. *Microbiology*. 2017. vol. 86. no. 3. P. 412–415. DOI: 10.1134/S0026261717030079.
17. Каллитова А.Ю., Меркель А.Ю., Тарновецкий И.Ю., Пименов Н.В. Образование и окисление метана прокариотами // Микробиология. 2017. Т. 86. № 6. С. 661–663. DOI: 10.7868/S002636561706009X.
18. Kallistova A.Y., Merkel A.Y., Pimenov N.V., Tarnovetskii I.Y. Methane formation and oxidation by prokaryotes. *Microbiology*. 2017. vol. 86. № 6. P. 671–691. DOI: 10.1134/S0026261717060091.
19. Kalitina E.G., Kharitonova N.A., Kuzmina T.V. Chemical and Microbiological Composition of Technogenic Waters in the Tailing Dumps of Krasnorechensk Oredressing Plant (Primorsky Krai, Russia). *IOP Conf. series: Earth and environmental science*. 2019. vol. 272. P. 032057. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032057.
20. Lebedeva E.G., Chelnokov G.A., Bragin I.V., Kharitonova N.A. Microorganisms of various ecological-trophic groups in the saline ground waters of Primorsky Region (distribution, number, participation in accumulation of microelements). *E3S Web of Conferences*. 2019. vol. 98. P. 02006. DOI: 10.1051/e3sconf/20199802006.