



УДК 543.32/.34+574.4726:579.26
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.52.87>

Гидрохимические условия и состав бактериального сообщества озера Ак-Холь (Республика Тыва)

Е. Г. Токмакова¹, О. И. Кальная², С. В. Эрдынеев¹, А. С. Пономарёва¹,
Н. Ф. Галацевич^{3*}

¹Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Роспотребнадзора,
г. Иркутск, Россия

²Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл, Россия

³Тувинская противочумная станция Роспотребнадзора, г. Кызыл, Россия
E-mail: flea98@mail.ru

Аннотация. Представлены первые данные о химическом составе вод и бактериофлоре солонатоводного бессточного оз. Ак-Холь на юго-западе Республики Тыва. Определены основные гидрохимические характеристики и содержание значимых загрязнителей в воде в различных локациях в прибрежье озера. На основе результатов метагеномного анализа тотальной ДНК бактериальных сообществ воды и ила из прибрежной зоны описано разнообразие бактерий, определены доминирующие таксоны, оценены видовое богатство бактерий и разнообразие на уровне рода.

Ключевые слова: солонатовые озёра, химический анализ воды, бактериальное сообщество, озеро Ак-Холь, Республика Тыва.

Для цитирования: Гидрохимические условия и состав бактериального сообщества озера Ак-Холь (Республика Тыва) / Е. Г. Токмакова, О. И. Кальная, С. В. Эрдынеев, А. С. Пономарёва, Н. Ф. Галацевич // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2025. Т. 52. С. 87–95. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.52.87>

Short communication

Hydrochemical Conditions and Composition of the Bacterial Community in Lake Ak-Khol (Tyva Republic)

E. G. Tokmakova¹, O. I. Kal'naya², S. V. Erdyneev¹, A. S. Ponomaryova¹,
N. F. Galatsevich³

¹Irkutsk Research Anti-Plague Institute by Rospotrebnadzor, Irkutsk, Russian Federation

²Tuva Institute of Integrated Development of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russian Federation

³Tyva Anti-Plague Station by Rospotrebnadzor, Kyzyl, Russian Federation

Abstract. Lake Ak-Khol is located in Mongun-Taiga district of Tyva Republic, bounded by coordinates N50°23', E090°16' and has economic, environmental and recreational significance. Chemical properties of water and total DNA of bacterial community from the coastal zone of the lake were analyzed. For chemical analysis, water was sampled at four points (east, south, southwest, north), and for metagenomic analysis, samples of water and silt were collected at one point near the eastern

shore of the lake. The dissolved oxygen content of the water was 7.40–7.86 mg/litre. The lake waters are predominantly oligosaline with mineralisation of 1.471–1.514 g/l, except for the south-western part of the lake, where mineralisation decreases to 0.736 g/l due to groundwater discharge in the form of a spring with a total flow rate of 4.5 l/s. The ionic composition is formed mainly by sodium hydrogen carbonate and sodium chloride, pH of the medium is alkaline (8.5–8.8), hardness is mild (1.60–2.80 mg-eq/l). No petroleum products were detected. Phenols were present in only one sample (east shore). Concentrations of anionic surfactants ranged from 0 (south-west shore) to 0.04 mg/l (south shore). The content of heavy metals, mercury and halogens did not exceed the maximum permissible concentrations established by the state norms 2.1.5.1315-03 for water of water bodies for household and cultural water use. According to the results of metagenomic analysis, Bacteroidota phyla (46.58 % of sequences), genus *Candidatus Aquirestis* (46.58 %), was dominant in the water, while Actinobacteria phyla (52.73 %), genus *Nitriliruptor* (35.40 %), was dominant in the silt. Representatives of the families Rhodobacteraceae (except genus *Paracoccus*), Sphingomonadaceae and Rubritaleaceae were common for the microbiota of water and silt, accounted for 24.91 % in water and 18.8 % in silt. More than half of them in both cases was provided by the presence of *Yoonia-Loktanella* halophile sequences – 14.53 % in water and 10.09 % in silt. It is concluded that further studies of the lake are necessary.

Keywords: Republic of Tyva, Ak-Khol Lake, oligosaline lakes, chemical analysis of water, bacterial community.

For citation: Tokmakova E.G., Kal'naya O.I., Erdyneev S.V., Ponomaryova A.S., Galatsevich N.F. Hydrochemical Conditions and Composition of the Bacterial Community in Lake Ak-Khol (Tyva Republic). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2025, vol. 52, pp. 87–95. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.52.87> (in Russian)

Озеро Ак-Холь находится в Монгун-Тайгинском кожууне (районе) Республики Тыва, в долине р. Каргы в 13 км к западу от пос. Мугур-Аксы вверх по течению реки на высоте 1956 м над у. м. Озеро расположено в межгорном понижении, бессточное, площадь составляет около 2 км², максимальная глубина неизвестна, с запада в него впадает ручей, также подпитывается родниками¹. Вода в озере солоноватая на вкус, местное население использует его в качестве водопоя для скота и в рекреационных целях, оно популярно среди туристов как остановочный пункт по дороге в Горный Алтай. Для вод и донных отложений озера описаны некоторые физико-химические показатели [Доктугу, 2011], однако предметом специальных публикаций они не являлись. Исследования биоты водоёма ранее не проводились. Целью настоящей работы является изучение химического состава вод оз. Ак-Холь и разнообразия населяющих воды и грунты его прибрежной зоны бактерий.

Пробы воды для химического анализа отбирали в мае 2018 г. в четырёх точках в прибрежье оз. Ак-Холь (табл. 1) в соответствии с требованиями ГОСТ² в чистые пластиковые ёмкости. Из точки 1 отобрано также по одной пробе воды и ила для метагеномного анализа. Пробу воды далее фильтровали с помощью шприца через кассетный фильтр из поливинилиденфторида (PVDF) Sterivex-GV Pressure Filter Unit (Millipore Sigma, США) с размером пор 0,22 мкм. Образцы для метагеномного анализа транспортировали в термосе с хладоэлементами при –18 °С, в лаборатории до экстракции ДНК хранили при –20...–25 °С.

¹ Ак-Холь // АржаанЛаб. 2025. <https://arjaanytuvy.ru/?p=2085>

² ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. М. : Институт стандартизации, 2023. 36 с.

Таблица 1

Характеристика точек отбора проб воды в оз. Ак-Холь (Республика Тыва)
(дата отбора 23 мая 2018 г.)

№ п/п	Локация отбора, характер грунта	Координаты	Т воды, °С	Т воздуха, °С
1	Восточный берег, песок	N50°23'38.9" E090°16'31.9"	8,2	11,7
2	Южный берег, ил	N50°23'40.8" E090°16'17.3"	10,2	—
3	Юго-западный берег, ил	N50°23'44.4" E090°16'02.9"	10,2	—
4	Северный берег, обильный ил, засоление	N50°23'44.4" E090°16'02.9"	13,0	14,3

Пробы воды анализировали в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета, зарегистрированной в национальной системе аккредитации (РОСС RU.0001.511901 от 09.09.2013). Определяли жёсткость общую, водородный показатель pH, степень минерализации, содержание основных катионов и анионов, в том числе азотсодержащих компонентов (аммоний-иона, нитратов, нитритов), растворённого кислорода, углекислоты свободной, тяжёлых металлов (цинк, медь, свинец, кадмий, никель, марганец, кобальт), мышьяка, ртути, йода, брома, загрязняющих компонентов (нефтепродукты, анионные поверхностно-активные вещества, фенолы), взвешенных веществ.

В ходе молекулярно-генетических исследований тотальную ДНК с фильтров выделяли с помощью набора ДНК-сорб-В (ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия) в соответствии с инструкцией с модификациями.

Аmplification, подготовку библиотек ампликонов, секвенирование гипервариабельной области V3–V4 последовательности гена 16S рРНК проводили по протоколам MiSeq (Illumina, США).

Обработку данных секвенирования ампликоновых библиотек осуществляли с помощью биоинформационного конвейера QIIME 2 (v. 2024.10). На начальном этапе конвейера выполняли предварительную фильтрацию ридов с использованием минимального уровня качества 15 (параметр --p-min-quality). Далее получали варианты ампликонных последовательностей (*amplicon sequence variants* (ASV)) с помощью алгоритма Deblur, задавая длину обрезки последовательностей до 250 нуклеотидов (параметр --p-trim-length). Таксономическую классификацию ASV проводили, используя базу данных рибосомальной РНК SILVA (v. 138) при уровне сходства 99 %.

Показатели альфа- и бета-разнообразия сообществ рассчитывали с использованием плагина q2-diversity в QIIME 2. Альфа-разнообразие оценивали с помощью индексов Шеннона, ACE, Chao1 и Пиелу: первые три характеризуют видовое богатство и разнообразие, а последний отражает равномерность распределения таксонов в сообществе. Для анализа бета-разнообразия вычисляли матрицы расстояний Жаккара и Брея – Кёртиса, характеризующие количественные и качественные различия в составе сообществ между образцами.

Химический состав вод озера. Данные по гидрохимическому составу в разных участках побережья озера представлены в табл. 2.

Содержание тяжёлых металлов и галогенов не превышало предельно допустимые концентрации, установленные ГН 2.1.5.1315-03³ для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Концентрация мышьяка составила 0,018 мг/л, что превышает установленную норму, причины данного превышения не ясны и требуют дальнейшего изучения.

Воды озера в целом солоноватые, по химическому составу – гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, по жёсткости – мягкие (1,60–2,80 мг-экв/л), показатель pH среды – щелочной.

Состав бактериальных сообществ воды и ила. В результате секвенирования для проб воды и ила были получены 83 474 и 33 636 парных рядов соответственно, средний размер составил 251 п.н. После фильтрации данных и обработки с применением алгоритма Deblur из ДНК-проб воды и ила выделены 2368 и 1229 репрезентативных последовательностей соответственно. Результаты метагеномного анализа представлены в табл. 3.

Микробиота ила содержала 18,8 %, а микробиота воды – 24,91 % ASV-бактерий общих систематических групп: это представители семейств Rhodobacteraceae (кроме рода *Paracoccus*), Sphingomonadaceae и Rubritaleaceae. В остальном вклад в бактериальное разнообразие общих фил Bacteroidota, Proteobacteria, Actinobacteria, Verrucomicrobiota реализуется за счёт представителей разных порядков, а в одном случае – класса (гаммапротеобактерии воды). В то же время в воде отсутствовали две филы – Cyanobacteria и Firmicutes, обнаруженные в иле, зато в иле не выявлена определённая в воде фила Planctomycetota. Таким образом, бактериальные сообщества воды и ила на три четверти и более образованы совершенно разными видами.

Согласно рассчитанным индексам, наибольшее видовое богатство и разнообразие на уровне рода отмечено в пробе воды, что подтверждается более высокими значениями индексов Шеннона (5,74), ACE (82,0) и Chao1 (82,0) по сравнению с илом (5,58; 66,0; 66,0 соответственно). Это указывает на большее число редких таксонов и более сложную микробную структуру водной среды.

При этом индекс выравненности Пиелу в обеих пробах остаётся на высоком уровне (0,90–0,92), что свидетельствует о достаточно равномерном распределении таксонов. Таким образом, микробное сообщество воды характеризуется не только большим числом таксонов, но и их относительно равномерным распределением. При этом значения индексов Жаккара (0,90) и Брея – Кёртиса (0,93) указывают на то, что микробные сообщества воды и ила характеризуются небольшим количеством общих родов бактерий.

³ ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=303561>

Таблица 2

Химические характеристики вод в различных локациях акватории оз. Ак-Холь (Республика Тыва)

Наименование показателя	Наименование участка акватории			
	Прибрежье восточной части	Прибрежье южной части	Прибрежье юго-западной части	Прибрежье северной части
Содержание растворённого кислорода, мг/л	7,86	7,71	7,4	7,43
Щелочность	слабощелочная	щёлочная	слабощелочная	щелочная
pH	8,50	8,74	8,46	8,75
Жесткость	мягкая	мягкая	мягкая	мягкая
Общая жесткость, мг-экв/л	2,7	2,75	1,60	2,80
Степень и показатель минерализации М, г/л	солончатая, 1,470	солончатая, 1,480	повышенной солёности, 0,736*	солончатая, 1,514
Тип химического состава	гидрокарбонатно-хлоридная натриевая	гидрокарбонатно-хлоридная натриевая	хлоридно-гидрокарбонатная натриевая	гидрокарбонатно-хлоридная натриевая
Формула солевого состава	$\frac{Cl_{45} \cdot HCO_3 40 \cdot SO_4 10 \cdot CO_3 5}{(Na + K)88 \cdot Mg10 \cdot Ca2}$	$\frac{Cl_{44} \cdot HCO_3 40 \cdot SO_4 10 \cdot CO_3 6}{(Na + K)87 \cdot Mg11 \cdot Ca2}$	$\frac{HCO_3 45 \cdot Cl_{41} \cdot SO_4 9 \cdot CO_3 5}{(Na + K)85 \cdot Mg10 \cdot Ca5}$	$\frac{Cl_{41} \cdot HCO_3 40 \cdot SO_4 10 \cdot CO_3 9}{(Na + K)88 \cdot Mg10 \cdot Ca2}$
Окисляемость перманганатная, мгО ₂ /л	5,5	6,1	2,60	5,30
Содержание ртути	0,000019	0,000033	—	—
Содержание анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ), мг/л	0,039	0,04	—	0,036
Содержание нефтепродуктов, мг/л	—	—	—	—
Содержание фенолов, мг/л	0,0022	—	—	—
Содержание взвешенных веществ, мг/л	20	14	39	12

Примечание: * – опреснение вод на участке может быть связано с выходом фреатических вод у юго-западного берега.

Таблица 3

Результаты метагеномного анализа проб ила и воды (выделено светло-серым) из оз. Ак-Холь (Республика Тыва)

Уровень группы и доля в сообществе, %									
Вид	Род	Семейство	Порядок	Класс	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
	<i>Cyclobacterium</i> 1,95	Cyclobacteriaceae 9,68	Cytophagales 9,68	Bacteroidia 12,45	Bacteroidia 46,58	Chitinophagales 46,58	Saprospiraceae 46,58	<i>Candidatus</i> <i>Aquirestis</i> 46,58	
	CFB group 1,71								
	<i>Indibacter</i> 1,06								
		Flavobacteriaceae 1,87	Flavobacteriales 1,87						
			Bacteroidales 1,00						
	<i>Yoonia-Loktanella</i> 10,09	Rhodobacteraceae 17,41	Rhodobacterales 17,41	Alpha- proteobacteria 28,23	Alpha- proteobacteria 23,02	Rhodobacterales 16,34	Rhodobacteraceae 16,34	<i>Yoonia-Loktanella</i> 14,53	
	6,43					Sphingomonadales 5,70	Sphingomonadaceae 5,70		
	<i>Paracoccus</i> 0,90								
		Sphingomonadaceae 0,98	Sphingomonadales 0,98			Caulobacterales 0,97	Caulobacteraceae 0,97	<i>Brevundimonas</i> 0,97	
	НБ 3,91	Geminicoccaceae 3,91	Tistrellales 3,91		Gamma- proteobacteria 14,87	Burkholderiales 14,87	Comamonadaceae 14,15	<i>Limnohabitans</i> 14,15	<i>L. parvus</i> 6,88
		Beijerinckiaceae 3,09	Rhizobiales 3,09						
			Defluviicoccales 2,85				Alcaligenaceae 0,72		
	<i>Nitriliruptor</i> 35,40	Nitriliruptoraceae 52,73	Nitriliruptorales 52,73	Actinobacteria 52,73	Actinobacteria 11,15	Micrococcales 5,79	Microbacteriaceae 5,79		
	<i>Egicoccus</i> 11,0					Frankiales 5,36	Sporichthyaceae 5,36	hgcI clade 4,48	
								<i>Candidatus</i> <i>Planktophila</i> 0,89	
	<i>Luteolibacter</i> 1,30	Rubritaleaceae 1,30	Verrucomicrobiales 1,30	Verrucomicrobiae 1,30	Verruco- microbiae 3,34	Verrucomicrobiales 2,87	Rubritaleaceae 2,87	<i>Luteolibacter</i> 2,87	
			Cyanobacteriales 4,48	Cyanobacteria 4,48		Chthoniobacterales 0,47	Chthoniobacteraceae 0,47	LD29 0,47	
	<i>Anoxyratronum</i> 0,81	Peptostreptococcaceae- Tissierellaceae 0,81	Peptostreptococcales- Tissierellales 0,81	Clostridia 0,81	Planctomycetes 1,06	Pirellulales 1,06	Pirellulaceae 1,06	НБ 1,06	

Примечание: 1) НБ – некультивируемые бактерии; 2) совпадающие таксоны на уровнях рода и семейства выделены серым

В сообществах воды и ила были выявлены количественно лидирующие роды бактерий, среди которых рост в условиях лаборатории для *Candidatus Aquirestis* описан как медленный [Hahn, Schauer, 2007], а для *Nitriliruptor alkaliphilus* – очень медленный [*Nitriliruptor alkaliphilus* gen. nov. ... , 2009]. Можно ожидать, что в пробах, взятых в другой сезон, соотношение ASV таксонов изменится. Кроме того, пока неизвестны максимальная глубина озера и состав бактерий, обитающих на этой глубине.

Известно, что доминирующие роды с долей ASV более 10 % в сообществе хорошо адаптированы к pH и солёности воды, характерных для оз. Ак-Холь [Bacterioplankton ... , 2006; Hahn, Schauer, 2007; *Limnohabitans australis* ... , 2010; *Nitriliruptor alkaliphilus* ... , 2009; *Egicoccus halophilus* ... , 2016; Feng, Xing, 2023; The microbial ... , 2024].

В результате работ выяснено, что воды озера преимущественно солоноватые с минерализацией 1,471–1,514 г/л за исключением юго-западной части озера, где минерализация составляет 0,736 г/л. Опреснение вод озера происходит здесь за счёт разгрузки подземных вод в виде родника с общим дебитом 4,5 л/с. Воды родника с повышенной минерализацией (0,60 г/л), по жёсткости – мягкие (общая жёсткость равна карбонатной и составляет 2,80 мг-экв/л), нейтральные (pH 7,39). По химическому составу – хлоридно-гидрокарбонатные натриевые. Формула солевого состава имеет вид:

$$\frac{HCO_3 59 \cdot Cl 33 \cdot SO_4 8}{(Na + K) 65 \cdot Ca 18 \cdot Mg 17}.$$

В юго-западном побережье в результате опреснения вод изменяются многие показатели: минерализация снижается, жёсткость уменьшается, анионный гидрохимический состав меняется с гидрокарбонатно-хлоридного на хлоридно-гидрокарбонатный.

Разнообразие бактерий образовано семью филлами: *Bacteroidota*, *Proteobacteria*, *Actinobacteriota*, *Verrucomicrobiota*, *Planctomycetota*, *Cyanobacteria*, *Firmicutes*. Две последних филлы не обнаружены в воде, а *Planctomycetota* – в иле. В воде преобладали представители *Bacteroidota* – *Candidatus Aquirestis* – 46,58 %, в иле *Actinobacteriota* – *Nitriliruptor* – 35,40 %. Согласно показаниям индексов Шеннона, ACE и Chao1 наибольшее видовое богатство и разнообразие на уровне рода отмечено в пробе воды. Данные метагеномного анализа в исследовании ограничены всего двумя пробами и нуждаются в дальнейшем пополнении.

Список литературы

Доктугу У. Б. Анализ донных отложений озера Ак-Холь Монгун-Тайгинского района Республики Тыва // Фестиваль исследовательских и творческих работ учащихся «Портфолио ученика». 2011. URL: <https://project.1sept.ru/works/591881>

Bacterioplankton community composition along a salinity gradient of sixteen high-mountain lakes located on the Tibetan Plateau, China / Q. L. Wu, G. Zwart, M. Schauer, M. P. Kamst-van Agterveld, M. W. Hahn // Appl. Environ. Microbiol. 2006. Vol. 72, N 8. P. 5478–5485. <https://doi.org/10.1128/AEM.00767-06>

Egicoccus halophilus gen. nov., sp. nov., a halophilic, alkalitolerant actinobacterium and proposal of Egicoccaceae fam. nov. and Egicoccales ord. nov. / Y.-G. Zhang, J.-Yu. Chen, H.-F. Wang,

M. Xiao, L.-L. Yang, J.-W. Guo, E.-M. Zhou, Yu.-M. Zhang, W.-J. Li // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2016. Vol. 66, Is. 2. P. 530–535. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000749>

Feng X. Xing P. Genomics of *Yoonia* sp. Isolates (Family Roseobacteraceae) from Lake Zhangnai on the Tibetan Plateau // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, Is. 11. 2817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112817>

Hahn M. W., Schauer M. ‘*Candidatus Aquirestis calciphila*’ and ‘*Candidatus Haliscomenobacter calcifugiens*’, filamentous, planktonic bacteria inhabiting natural lakes // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2007. Vol. 57, Is. 5. P. 936–940. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.64807-0>

Limnohabitans australis sp. nov., isolated from a freshwater pond, and emended description of the genus *Limnohabitans* / M. W. Hahn, V. Kasalický, J. Jezbera, U. Brandt, K. Šimek // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2010. Vol. 60, Is. 12. P. 2946–2950. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.022384-0>

Nitriliruptor alkaliphilus gen. nov., sp. nov., a deeplineage haloalkaliphilic actinobacterium from soda lakes capable of growth on aliphatic nitriles, and proposal of Nitriliruptoraceae fam. nov. and Nitriliruptorales ord. nov. / D. Yu. Sorokin, S. van Pelt, T. P. Tourova, L. I. Evtushenko // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2009. Vol. 59, Is. 2. P. 248–253. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.002204-0>

The microbial community structure and nitrogen cycle of high-altitude pristine saline lakes on the Qinghai-Tibetan plateau / Z. Zhao, Y. Zhao, F. Marotta, M. Xamxidin, H. Li, J. Xu, B. Hu, M. Wu // *Front. Microbiol.* 2024. Vol. 15. 1424368. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1424368>

References

Doktugu U.B. Analiz donnykh otlozhenii ozera Ak-Khol Mongun-Taiginskogo raiona Respubliki Tyva [Analysis of bottom sediments of Ak-Khol lake of Mongun-Taiga district of the Republic of Tyva]. *Festival issledovatel'skikh i tvorcheskikh rabot uchashchikhsya “Portfolio uchenika”* [Festival of research and creative works of schoolchildren ‘Pupil’s Portfolio’], 2024. (in Russian). Available at: <https://project.1sept.ru/works/591881>

Wu Q.L., Zwart G., Schauer M., Kamst-van Agterveld M. P., Hahn M. W. Bacterioplankton community composition along a salinity gradient of sixteen high-mountain lakes located on the Tibetan Plateau, China. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2006, vol. 72, no. 8. pp. 5478–5485. <https://doi.org/10.1128/AEM.00767-06>

Zhang Y.-G., Chen J.-Yu., Wang H.-F., Xiao M., Yang L.-L., Guo J.-W., Zhou E.-M., Zhang Yu.-M., Li W.-J. *Egicoccus halophilus* gen. nov., sp. nov., a halophilic, alkalitolerant actinobacterium and proposal of Egicoccaceae fam. nov. and Egicoccales ord. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2016, vol. 66, is. 2, pp. 530–535. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000749>

Feng X. Xing P. Genomics of *Yoonia* sp. Isolates (Family Roseobacteraceae) from Lake Zhangnai on the Tibetan Plateau. *Microorganisms*, 2023, vol. 11, is. 11, 2817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112817>

Hahn M.W., Schauer M. ‘*Candidatus Aquirestis calciphila*’ and ‘*Candidatus Haliscomenobacter calcifugiens*’, filamentous, planktonic bacteria inhabiting natural lakes. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2007, vol. 57, is. 5, pp. 936–940. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.64807-0>

Hahn M.W., Kasalický V., Jezbera J., Brandt U., Šimek K. *Limnohabitans australis* sp. nov., isolated from a freshwater pond, and emended description of the genus *Limnohabitans*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2010, vol. 60, is. 12, pp. 2946–2950. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.022384-0>

Sorokin D.Yu., van Pelt S., Tourova T.P., Evtushenko L.I. *Nitriliruptor alkaliphilus* gen. nov., sp. nov., a deeplineage haloalkaliphilic actinobacterium from soda lakes capable of growth on aliphatic nitriles, and proposal of Nitriliruptoraceae fam. nov. and Nitriliruptorales ord. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2009, vol. 59, is. 2, pp. 248–253. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.002204-0>

Zhao Z., Zhao Y., Marotta F., Xamxidin M., Li H., Xu J., Hu B., Wu M. The microbial community structure and nitrogen cycle of high-altitude pristine saline lakes on the Qinghai-Tibetan plateau. *Front. Microbiol.*, 2024, vol. 15, 1424368. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1424368>

Сведения об авторах

Токмакова Елена Геннадьевна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник

Information about the authors

Tokmakova Elena Gennadyevna
Candidate of Sciences (Biology),
Senior Research Scientist

*Иркутский научно-исследовательский
противочумный институт
Роспотребнадзора
Россия, 664047, г. Иркутск, Трилиссера, 78
e-mail: flea98@mail.ru*

Кальная Ольга Ивановна
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Тувинский институт комплексного освоения
природных ресурсов СО РАН
Россия, 667007, г. Кызыл,
ул. Интернациональная, 117А
e-mail: kalnaja@mail.ru

Эрдынеев Сергей Викторович
младший научный сотрудник
Иркутский научно-исследовательский
противочумный институт
Роспотребнадзора
Россия, 664047, г. Иркутск, Трилиссера, 78
e-mail: orry230@yandex.ru

Пономарёва Анна Сергеевна
врач-бактериолог
Иркутский научно-исследовательский
противочумный институт
Роспотребнадзора
Россия, 664047, г. Иркутск, Трилиссера, 78
e-mail: ackozh@mail.ru

Галацевич Нина Феликсовна
зоолог
Тувинская противочумная станция
Роспотребнадзора
Россия, 667010, г. Кызыл, ул. Московская, 13
e-mail: nf-gala@mail.ru

*Irkutsk Anti-Plague Research Institute of Siberia
and Far East of Rospotrebnadzor
78, Trilisser st., Irkutsk, 664047,
Russian Federation
e-mail: flea98@mail.ru*

Kal'naya Ol'ga Ivanovna
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Research Scientist
Tuva Institute of Integrated Development of
Natural Resources SB RAS
117A, Internatsionalnaya st., Kyzyl, 667007,
Russian Federation
e-mail: kalnaja@mail.ru

Erdynееv Sergey Viktorovich
Junior Research Scientist
Irkutsk Anti-Plague Research Institute of Siberia
and Far East of Rospotrebnadzor
78, Trilisser st., Irkutsk, 664047,
Russian Federation
e-mail: orry230@yandex.ru

Ponomaryova Anna Sergeevna
Bacteriologist
Irkutsk Anti-Plague Research Institute of Siberia
and Far East of Rospotrebnadzor
78, Trilisser st., Irkutsk, 664047,
Russian Federation
e-mail: ackozh@mail.ru

Galatsevich Nina Feliksovna
Zoologist
Tyva Anti-Plague Station by Rospotrebnadzor
13, Moskovskaya st., Kyzyl, 667010,
Russian Federation
e-mail: nf-gala@mail.ru