

Научная статья
УДК 579:556. 55(571.55)
DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-44-51

РАЗНООБРАЗИЕ ПРОКАРИОТОВ В БИОТОПАХ СОЛЕННОГО ЩЕЛОЧНОГО ОЗЕРА ЗУН-ТОРЕЙ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

А. С. Сыренжапова, Е. Ю. Абидуева

© Сыренжапова Арюна Сыдынжаповна

кандидат биологических наук, доцент,
Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В. Р. Филиппова
Россия, 670034, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8
arunaSS_70@mail.ru

© Абидуева Елена Юрьевна

доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
abidueva_1@mail.ru

Аннотация. Целью исследования было изучение разнообразия микробного сообщества в биотопах соленого щелочного озера Зун-Торей, расположенного в Юго-Восточном Забайкалье. Исследование таксономической структуры изученных биотопов показало, что на уровне доменов преобладают бактерии до 99%, а доля архей составляла 1–4%. Архейное разнообразие было отмечено в обоих биотопах, но представителей архей было больше в донных осадках — до 4%, также как и неклассифицированных представителей филумов — до 7%. Доминирующими филумами в обоих биотопах были Bacteroidota (30% и 43%), Actinobacteriota (31% и 19%), Proteobacteria (13% и 15%), Firmicutes (12% и 17%) в донных осадках и высолах соответственно. В целом выявлено высокое сходство в разнообразии микробных сообществ и распространении доминирующих таксонов в изученных биотопах соленого щелочного озера Зун-Торей.

Ключевые слова: соленые озера, Зун-Торей, микробное сообщество, Юго-Восточное Забайкалье, биотопы.

Благодарности

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта № 121030100229-1.

Для цитирования

Сыренжапова А. С., Абидуева Е. Ю. Разнообразие прокариотов в биотопах соленого щелочного озера Зун-Торей (Забайкальский край, Россия) // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2024. № 2(28). С. 44–51. DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-44-51

Введение

На юге Восточного Забайкалья и на смежных территориях Монголии и Китая распространены многочисленные солоноватые и соленые озера, гидрохимические характеристики которых подвержены значительным хронологическим изменениям [Замана, 2010]. Периодическое наполнение и высыхание озер вызваны циклическими колебаниями климатических условий [Алекин,

1970], которые влияют на изменения микробиологических процессов и в целом на биоту [Романенко, 1985; Сыренжапова, 2022]. В многоводные периоды наиболее крупные и соединяющиеся между собой озера Зун-Торей и Барун-Торей имеют общую площадь водного зеркала до 850 км², в фазы аридизации Торейские озера практически полностью высохали [Дамбаев, 2008; Сыренжапова, 2004; Абидуева и др., 2008].

В момент отбора проб летом 2021 г. соленое щелочное озеро Зун-Торей было высохшим и выглядело как небольшие разрозненные озерца. Вблизи береговой линии озера были отмечены отложения солей (высулы).

Полученные данные позволили оценить современное состояние озера и таксономическое разнообразие микробных сообществ в разных биотопах озера Зун-Торей.

Материал и методы исследования

Пробы для исследований отбирали в августе 2021 г. в северо-восточной части озера Зун-Торей (N 50°9'48.04" E 115°48'43.26"). Физико-химические показатели воды определяли с помощью портативных приборов и общепринятыми гидрохимическими методами [Полевой практикум, 2005].

Для выделения ДНК был использован набор реактивов NucleoSpin Soil (Macherey-Nagel, Германия) согласно инструкции производителя. ПЦР продукты очищали по рекомендованной фирмой Illumina методике с использованием магнитных частиц AMPure XP (Beckman Coulter, США).

Разнообразие микробного сообщества изучали методом высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК с использованием платформы Illumina MiSeq. Исследование проводилось с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии.

Результаты исследования

Физико-химическая характеристика мест отбора проб

Озеро Зун-Торей характеризовалось мелководностью, соленостью и щелочным значением рН воды (табл. 1). В момент проведения отбора проб температура воды составляла +26,7°С, рН 9,7, минерализация 7,8 г/л. Концентрация ионов натрия составляла 5,2 г/л, ионов хлора и сульфатов 0,56 г/л и 0,98 г/л, карбонатов и гидрокарбонатов 2,21 и 4,73 г/л соответственно. Типизация воды, по О. А. Алекину [Алекин, 1970], показала, что озеро относится к гидрокарбонатно-натриевому типу.

Таблица 1

Физико-химические параметры воды озера Зун-Торей

Озеро	T, °C	pH	M	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Тип воды
Зун-Торей	+27	9,7	г/л						гидрокарбонатно-натриевый
			7,8	5,2	0,56	0,98	2,21	4,73	

Примечание: T — температура воды, M — минерализация, ОВП — окислительно-восстановительный потенциал.

Анализ микробного разнообразия

Впервые изучен таксономический состав микробного сообщества в донных осадках (9-ЗТ-21) и высулах (10-ЗТ-21) соленого щелочного озера Зун-Торей, с использованием высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК.

Анализ сообщества проведен на 55 981 достоверной нуклеотидной последовательности, отнесенной к 781 ОТЕ. Сообщество биотопов было представлено доменом *Bacteria*. В донных осадках и высулах на его долю приходилось 95,4 и 99,1%. Оставшиеся 0,9 и 4,6% соответственно составляли представители домена *Archaea*.

В микробных сообществах биотопов озера Зун-Торей выявлены последовательности генов 16S рРНК представителей 18 бактериальных филумов.

В различных типах биотопов отмечены различия в таксономическом составе. В донных осадках (1-я проба) доминировали представители филумов *Actinobacteriota* (31%), *Bacteroidota* (30%), *Proteobacteria* (13%), *Firmicutes* (12%). В этом биотопе достаточно многочисленными были представители архей (4%).

В высулах озера (2-я проба) доминировали представители филумов *Bacteroidota* (43%), *Actinobacteriota* (19%), *Firmicutes* (17%), *Proteobacteria* (15%). Представители архей были малочисленны (0,9%).

Для оценки разнообразия микробных сообществ изученных биотопов были рассчитаны индексы разнообразия Shannon (табл. 2).

Таблица 2

Индексы таксономического разнообразия микробных сообществ в высулах и донных осадках озера Зун-Торей (Забайкальский край)

Образец/биотоп	Координаты	Кол-во классифицированных последовательностей, %	ASVs	Индекс разнообразия Шеннона
9-ЗТ-21/ донные осадки 24	N 50°9'48.04" E 115°48'43.26"	15 727/ 52,6	270	2,5
10-ЗТ-21/ высулы солей 23	N 50°9'50.05" E 115°48'43.34"	40 254/ 49,2	511	2,6
		55 981/ 50,9		

Микробные сообщества были достаточно разнообразными, выявлено 511 ASVs в высулах и 270 ASVs в донных осадках. Индекс разнообразия Шеннона составлял в высулах 2,6 и в осадках 2,5.

Таксономический состав микробного сообщества в осадках озера Зун-Торей

Микробное сообщество в осадках (9-ЗТ-21) было достаточно разнообразным, в его составе было выявлено 15 727 филотипов (ОТЕ), которые принадлежали 18 филумам.

В образце донных осадков доминировали бактерии, представители архей составляли долю 4% (рис. 1).

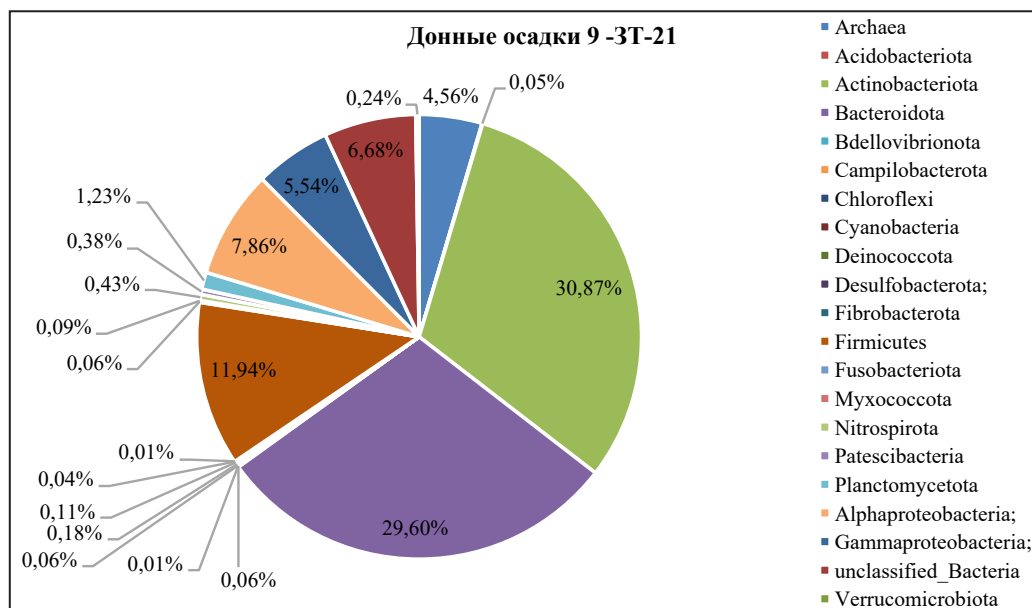


Рис. 1. Таксономическое разнообразие микробного сообщества в осадках озера Зун-Торей

Археи в основном соотнесены с представителями родов *Halalkaliococcus*, *Halohasta*, *Halorubrum*, *Natronococcus*, *Natronorubrum* семейства *Halobacteriaceae*; родами *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* семейства *Methanobacteriaceae*; *Candidatus Nitrocosmicus*, *Candidatus Nitrososphaera* семейства *Nitrososphaeraceae*, а также с неклассифицированными и некультивируемыми представителями указанных семейств.

Наибольшую долю в бактериальном сообществе донных осадков озера Зун-Торей составляли представители филумов *Actinobacteriota* (31%), *Bacteroidota* (30%), *Firmicutes* (12%) и филума *Proteobacteria*: классов *Alphaproteobacteria* (8%) и *Gammaproteobacteria* (5%). Незначительная доля в сообществе исследуемого озера приходилась на представителей других филумов (2%) и филума *Planctomycetota* (1%). Неклассифицированные представители филумов составляли (7%).

Филум *Actinobacteriota* в основном соотнесен с представителями порядков *Micrococcales*, *Nitriliruptorales*, *Propionibacteriales*, *Microtrichales*, *Rubrobacterales*, *Coriobacteriales*; филум *Bacteroidota* с представителями порядков *Bacteroidales*, *Chitinophagales*, *Flavobacteriales*, *Balneolales*. Филум *Firmicutes* в основном соотнесен с представителями порядков *Bacillales*, *Lactobacillales*, *Paenibacillales*, *Clostridiales*. Филум *Proteobacteria*: классы *Alphaproteobacteria* и *Gammaproteobacteria* в основном соотнесены с представителями порядков *Rhizobiales*, *Caulobacterales*, *Acetobacterales* и *Pseudomonadales*, *Oceanospirillales*, *Burkholderiales*, *Pseudomonadales* соответственно.

Таким образом, филогенетический анализ показал достаточно разнообразное микробное сообщество донных осадков (1-я проба) озера Зун-Торей. Установлено,

что наибольшую долю в бактериальном сообществе составляют представители филумов *Actinobacteriota* (31%), *Bacteroidota* (30%), *Proteobacteria* (13%), *Firmicutes* (12%).

Таксономический состав микробного сообщества в высухах озера Зун-Торей

Микробное сообщество в высухах озера (9-ЗТ-21) было достаточно разнообразным, в его составе было выявлено 81 873 филотипа (ОТЕ), которые принадлежали 15 филумам.

В исследуемом биотопе доминировали бактерии, представители архей составляли менее 1% (рис. 2).

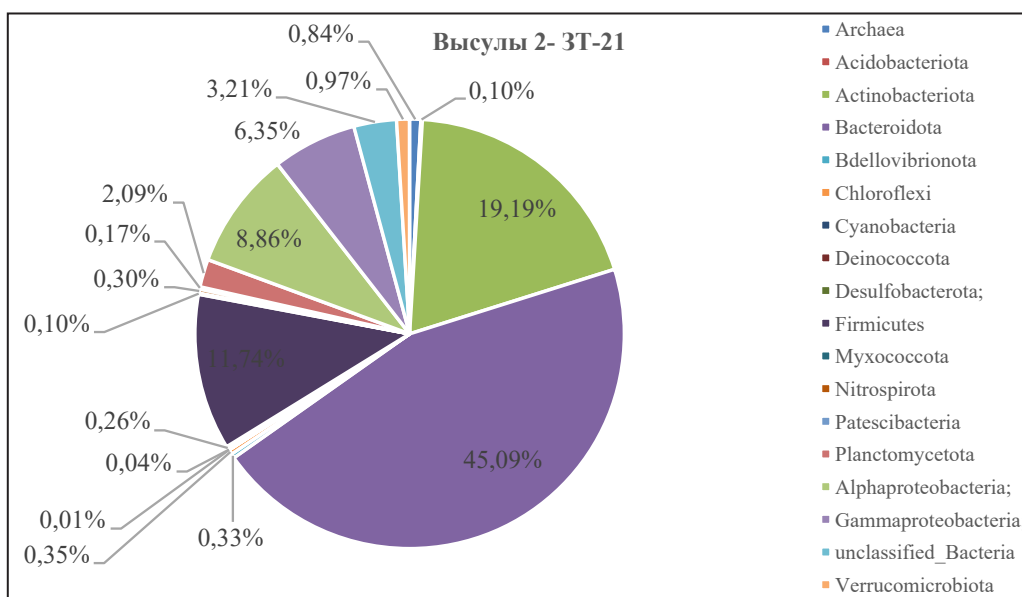


Рис. 2. Таксономическое разнообразие микробного сообщества в высухах озера Зун-Торей

Филум *Bacteroidota* в микробном сообществе осадков по обилию последовательностей (43%) занимал первое место. Филум *Bacteroidota* представлен в сообществе в основном двумя порядками: *Cytophagales* (33,62%) и *Flavobacteriales* (9,05%). Большая доля последовательностей этого филума имеет наибольшее сходство с неклассифицированными бактериями. Доминирующими классифицированными родами порядка *Cytophagales* были *Mongoliicoccus* (34%), представители родов *Cesiribacter*, *Indibacter* и *Pontibacter* составляли до 2%, соответственно. К ним относились виды *Mongoliicoccus roseus* (29%), *Mongoliicoccus alkaliphilus*, *Cesiribacter* sp. и др. Доминирующими классифицированными родами порядка *Flavobacteriales* были *Antarcticibacterium* (47,4%) и незначительно были представлены роды *Confluentibacter*, *Flavobacterium* (менее 1%).

По количеству последовательностей на втором месте был филум *Actinobacteriota* (19%), который характеризовался присутствием в основном неклассифицированных бактерий *Nitriliruptorales* и других видов семейства *Actinobacteria*.

Незначительное количество последовательностей классифицировано до родов *Egicoccus*, *Nitriliruptor*, *Rubrobacter*.

На третьем месте был филум *Firmicutes* (17%), преобладали различные неклассифицированные виды классов *Bacilli* (11%) и *Clostridia* (4%). Незначительное количество последовательностей классифицировано до родов *Alkalicoccus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Paenibacillus*, *Oceanobacillus*, *Desulfosporosinus*.

На четвертом месте был филум *Proteobacteria* (15%), представленный преимущественно *Alphaproteobacteria* (9%) и *Gammaproteobacteria* (6%). Самый многочисленный среди протеобактерий класс *Alphaproteobacteria* (9%) характеризовался преобладанием некультивируемых представителей *Rhizobiales* (4,32%), *Rhodobacterales* (2,87%) и *Sphingomonadales* (1%). *Acetobacterales*, *Caulobacteriales* и *Kiloniellales* представляли менее 0,1% числа альфапротеобактерий соответственно.

Незначительное количество последовательностей классифицировано до родов *Roseococcus*, *Brevundimonas*, *Salinarimonas*, *Paracoccus*, *Porphyrobacter*.

Gammaproteobacteria (6%) были более разнообразны, включая доминирующих представителей порядков *Pseudomonadales* (2,4%), *Oceanospirillales* (1,75%), *Burkholderiales* (1%) и минорных представителей (менее 1%) порядков *Cellvibrionales*, *Enterobacteriales*, *Legionellales*, *Pasteurellales*, *Xanthomonadales*. Обнаружено значительное количество последовательностей некультивируемых представителей родов *Nitrosomonas*, *Thioalkalivibrio*, *Halomonas*, *Pseudomonas*, *Neisseria*.

Незначительная доля в биотопе озерных высулов приходилась на представителей филума *Planctomycetota* (2%) и других филумов (менее 1%). Неклассифицированные представители филумов составляли (3%).

Таким образом, филогенетический анализ показал достаточно разнообразное микробное сообщество озерных высулов щелочного озера Зун-Торей. Установлено, что наибольшую долю в бактериальном сообществе составляют представители филумов *Bacteroidota* (43%), *Actinobacteriota* (19%), *Firmicutes* (17%), *Proteobacteria* (15%). Архейное разнообразие в образце озерных высулов составляло менее 1%.

Таблица 3

Доминирующие филумы в изученных биотопах озера Зун-Торей

Донные осадки (9-3Т-21)	Высулы (10-3Т-21)
<i>Bacteroidota</i> (30%)	<i>Bacteroidota</i> (43%)
<i>Actinobacteriota</i> (31%)	<i>Actinobacteriota</i> (19%)
<i>Proteobacteria</i> (13%)	<i>Proteobacteria</i> (15%)
<i>Firmicutes</i> (12%)	<i>Firmicutes</i> (17%)
<i>Archaea</i> (4%)	<i>Archaea</i> (1%)
<i>Planctomycetota</i> (1%)	<i>Planctomycetota</i> (2%)
Неклассифицированные представители филумов составляли 7%	Неклассифицированные представители филумов составляли 3%
Другие (2%)	Другие (1%)

Заклучение

Таким образом, выявлено высокое сходство в разнообразии микробных сообществ и распространении доминирующих таксонов в изученных биотопах соленого щелочного озера Зун-Торей. При рассмотрении таксономической структуры изученных биотопов было выявлено, что на уровне доменов преобладали бактерии до 99%, доля архей достигала 4%. Архейное разнообразие было отмечено в обоих биотопах, но представителей архей было больше в донных осадках — до 4%, также как и неклассифицированных представителей филумов до 7%.

Доминирующими филумами в обоих биотопах были *Bacteroidota* (30% и 43%), *Actinobacteriota* (31% и 19%), *Proteobacteria* (13% и 15%), *Firmicutes* (12% и 17%) в донных осадках и высулах соответственно. Уникальные для каждого биотопа рода за редким исключением представлены единичными последовательностями.

Литература

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. 442 с. Текст : непосредственный.
2. Гидрохимическая характеристика содовых озер Юго-Восточного Забайкалья и Монголии / В. Б. Дамбаев, Б. С. Цыренов, С. П. Бурюхаев [и др.] // Вестник Бурятского государственного университета. 2008. № 3. С. 25–27. Текст : непосредственный.
3. Замана Л. В., Борзенко С. В. Гидрохимический режим соленых озер Юго-Восточного Забайкалья // География и природные ресурсы. 2010. № 4. С. 100–107. EDN MWOOWZ. Текст : непосредственный.
4. Полевой практикум по водной микробиологии и гидрохимии: методическое пособие / Б. Б. Намсараев, В. М. Горленко, З. Б. Намсараев [и др.]; ответственный редактор М. В. Вайнштейн. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2005. 68 с. Текст : непосредственный.
5. Романенко В. И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Ленинград : Наука, Ленингр. отд., 1985. 296 с. Текст : непосредственный.
6. Сезонные изменения физико-химических условий среды соленого озера Дабасунур (Юго-Восточное Забайкалье) / Е. Ю. Абидуева, Л. П. Козырева, А. С. Сыренжапова, Б. Б. Намсараев // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С. 177–179. Текст : непосредственный.
7. Сыренжапова А. С. Сезонные и межгодовые изменения активности микроорганизмов высокоминерализованных содово-соленых озер Онон-Керуленской группы : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Улан-Удэ, 2004. 19 с. EDN NHQNXR. Текст : непосредственный.
8. Таксономическое разнообразие микробных сообществ в содово-соленом озере Зун-Торей (Забайкальский край) / А. С. Сыренжапова, Е. Ю. Абидуева, О. П. Дагурова, Д. Д. Бархутова // Биота, генезис и продуктивность почв : материалы XIX Всероссийского совещания по почвенной зоологии (Улан-Удэ, 15–19 августа 2022 г.) / под редакцией А. В. Тиунова, К. Б. Гонгальского, А. В. Уварова. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2022. С. 165–166. EDN NOONUL. Текст : непосредственный.

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 02.09.2024; принята к публикации 05.09.2024.

PROKARYOTES DIVERSITY IN THE BIOTOPES OF SALT ALKALINE
LAKE ZUN-TOREY (ZABAIKALSKY KRAI, RUSSIA)

A. S. Syrenzhapova, E. Yu. Abidueva

Aryuna S. Syrenzhapova
Cand. Sci (Biol.), A/Prof.,
Philippov Buryat State Agricultural Academy
8 Pushkina St., Ulan-Ude 670042, Russia
arunaSS_70@mail.ru

Elena Yu. Abidueva
Dr. Sci. (Biol.), Prof., Leading Researcher,
Institute for General and Experimental Biology SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
abidueva_l@mail.ru

Abstract. The research is aimed at investigating the diversity of microbial community in the biotopes of salt alkaline Lake Zun-Torey, located in the south-eastern Transbaikalia. The study of the taxonomic structure of the biotopes has shown that at the domain level bacteria predominate up to 99%, and the proportion of archaea is 1–4%. Archaeal diversity is noted in both biotopes, but there are more archaea representatives in the bottom sediments — up to 4%, as well as unclassified representatives of phyla — up to 7%. The dominant phyla in both biotopes are *Bacteroidota* (30% and 43%), *Actinobacteriota* (31% and 19%), *Proteobacteria* (13% and 15%), *Firmicutes* (12% and 17%) in the bottom sediments and salt efflorescences respectively. In general, a high similarity has been revealed in the diversity of microbial communities and the distribution of dominant taxa in the biotopes of salt alkaline Lake Zun-Torey.

Keywords: salt lakes, Zun-Torey, microbial community, South-Eastern Transbaikalia, biotopes.

Acknowledgements

The research was carried out within the framework of the budget project No. 121030100229-1.

For citation

Syrenzhapova A. S., Abidueva E. Yu. Prokaryotes Diversity in the Biotopes of Salt Alkaline Lake Zun-Torey (Zabaikalsky Krai, Russia). *Nature of Inner Asia*. 2024; 2(28): 44–51 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-44-51

The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 02.09.2024; accepted for publication 05.09.2024.