

ФИТОПЛАНКТОН, ФИТОБЕНТОС,  
ФИТОПЕРИФИТОН

УДК [582.26/27:285.2]:574(571.513)

ВОДОРОСЛИ СОЛЕННОГО оз. АЛТАЙСКОЕ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ):  
ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

© 2022 г. Е. Г. Макеева<sup>a, b, \*</sup>, Н. В. Осипова<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Государственный природный заповедник “Хакасский”, Абакан, Россия

<sup>b</sup>Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

\*e-mail: meg77@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.03.2021 г.

После доработки 20.10.2021 г.

Принята к публикации 08.11.2021 г.

Представлены результаты изучения флоры и доминирующих комплексов водорослей соленого оз. Алтайское. Выявлено 93 вида, относящихся к 57 родам, 40 семействам, 25 порядкам, 14 классам и 7 отделам (Bacillariophyta – 44 вида, Cyanoprokaryota – 35, Chlorophyta – 9, Euglenophyta – 2, Chrysophyta – 1, Xanthophyta – 1, Cryptophyta – 1). Доминантом всех альгоценозов оз. Алтайское была *Limnospira fusiformis* (Voronichin) Nowicka-Krawczyk, Mühlsteinová et Hauer, вызывающая “цветение” водоема в летний период.

*Ключевые слова:* водоросли, видовой состав, соленое озеро, Республика Хакасия

DOI: 10.31857/S0320965222020073

ВВЕДЕНИЕ

Озера с соленой водой занимают ~6% (~20000 км<sup>2</sup>) площади водной поверхности естественных водоемов Российской Федерации (Измайлова, Корнеенкова, 2020). Минеральные озера на территории бывшего СССР и сопредельных регионов расположены на степных, полупустынных и пустынных территориях, с малым поверхностным стоком и большим испарением (Плещев, Чекмарев, 1967). Накопление солей в озерах континентального происхождения происходит постепенно, за счет растворения солей, рассеянных в породах и почвах, слагающих водосборный бассейн, подземными и поверхностными водами (Давыдов и др., 1973). В последнее время высокоминерализованные озера стали объектом интенсивного изучения по ряду причин: они считаются центрами возникновения микробного разнообразия и местами сохранения уникальных реликтовых микробных сообществ, в которых доминируют цианобактерии (Заварзин, 1993, 2007). В таких местобитаниях развиваются экстремофильные организмы, перспективные для использования в биотехнологиях; исследования соленых озер важны для решения вопросов экологии и физиологии водных организмов, эволюционной биологии (Егоров, 2001). На фоне современного изменения климата, увеличения антропогенного воздействия и роста минерализации пресных вод или, напротив, их опреснения (Williams, 2001; Шадрин и др., 2018; Корнева, Глушенко, 2020) интерес к подоб-

ным водоемам резко возрос. Кроме того, совместные воздействия засоления и эвтрофикации могут ускорить процесс превращения озер в гипертрофные, что потенциально может привести к их “цветению” и ухудшению качества воды (Lind et al., 2018). Также глобальное потепление и антропогенное загрязнение вод рассматривают как процессы, способствующие стремительному распространению и доминированию в водоемах с различной соленостью цианопрокариот, в том числе токсикогенных (Сухаревич, Поляк, 2020). Изучение биоты водоемов, подверженных природному осолонению, позволяет проводить сравнение и аналогии с таковой, осуществляемой в ходе аллогенной сукцессии. Это, в свою очередь, может быть основой для прогнозирования состояния современных водных экосистем. Водоросли считаются важнейшим автотрофным компонентом соленых озер. Как обитатели этих биотопов, характеризующихся высокой и изменяющейся соленостью, они могут служить модельными организмами в исследованиях солевой адаптации (Erdmann, Nagemann, 2001). Сведения об альгофлоре соленых озер необходимы для оценки биоразнообразия и выявления закономерностей развития экстремальных экосистем.

На сравнительно небольшой территории Республики Хакасия (61.569 тыс. км<sup>2</sup>) расположено >100 соленых озер, распространенных в северной и центральной частях республики. Они представ-

ляют собой конечные водоемы бессточных областей степной засушливой зоны.

Исследованию водорослей соленых озер Хакасии посвящено большое количество работ, часть из них рассматривает видовой состав водорослей (Попова, 1946, 1947; Макеева, Науменко, 2015; Volobanshchikova et al., 2018 и др.). Наиболее многочисленны сведения по водорослям оз. Ши́ра (Дегерменджи и др., 1996; Зотина, Толмеев, 1997; Горбанева и др., 2006; Макеева, 2011 и др.), но вопрос о биоразнообразии минерализованных водоемов Хакасии остается весьма актуальным, поскольку многие из них не изучены в альгологическом плане. Особенно это касается соляных или минеральных озер.

Среди минеральных озер Хакасии интерес представляет оз. Алтайское, альгофлора которого до настоящего времени не изучена.

Цель работы – анализ видового разнообразия и экологических особенностей водорослей оз. Алтайское.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Алтайское (Куринка, Лукьяновка, Алтай) расположено на территории Алтайского р-на Республики Хакасия, в Койбальской степи, в границах Южно-Минусинской котловины Назаровско-Минусинской межгорной впадины, согласно орографической схеме А.А. Мистрюкова (1991). Окружающий рельеф холмистый, с абсолютными высотными отметками 300–347 м над уровнем моря. Прибрежная растительность в основном представлена *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., произрастающего в виде отдельных фрагментов. Имеются заболоченные участки.

Озеро в настоящее время имеет форму неправильной восьмерки, разделено мелководным перешейком на малый плес (Алтайское 1) и большой плес (Алтайское 2). Ранее, при более низком уровне воды, плесы представляли собой два изолированных водоема. Озером Алтайским называли большой плес, который также имел названия Алтай или Куринка, малый плес именовался оз. Малая Куринка. По данным Google Earth Pro на август 2019 г. площадь озера была 2.93 км<sup>2</sup>. Максимальная глубина озера 2.2 м. Озеро не имеет стока, питание происходит за счет атмосферных осадков и грунтовых вод верхнедевонских отложений (Энциклопедия..., 2007). Уровень солености воды оз. Алтайское варьирует в пределах 30.1–108 г/л: в 1989 г. минерализация воды достигала 72–108 г/л (Кривошеев, 1991), в 1999 г. – 39.4 г/л (Парначев и др., 2003), в 1995–2002 гг. – 30.1–33.4 г/л (Клопотова, 2004), в 2017 г. – 42.7 г/л (Макеева, Осипова, 2019). Вода озера характеризуется как хлоридно-сульфатная (Парначев и др., 2003) или сульфатно-хлоридная натриевая (Кло-

потова, 2004); относится к классу слабощелочной или щелочной (рН 7.8–9.5); прозрачность воды по диску Секки может достигать 0.5 м; присутствует запах сероводорода. Берега в основном песчаные, песчано-илистые. На дне озера распространены высокоминерализованные иловые отложения мощностью до 1.2 м (Парначев и др., 2003; Клопотова, 2004).

Альгологический материал (80 проб фитопланктона, фитобентоса и фитоперифитона) собран в летний период 2017–2019 гг. на девяти станциях, включающих большой и малый плесы, перешеек. Большинство проб отбирали в литорали озера на постоянных станциях (рис. 1), часть проб фитопланктона и фитобентоса собрана в центральной части плесов.

Планктонные водоросли собирали сетью Апштейна (размер ячеек 64 мкм) и батометром Рутнера с поверхностного горизонта (0.5–1 м); перифитон – с естественных субстратов при помощи скальпеля или путем отжима высшей водной растительности. Отбор грунтов проводился лотом или зачерпыванием в склянку с разных глубин. В качестве фиксаторов использовали растворы формальдегида или люголя. Сворки диатомовых водорослей освобождали от органического вещества методом холодного сжигания (Балонов, 1975).

Идентификацию водорослей осуществляли под световым микроскопом “Olympus” CX 41 при увеличении в  $\times 1000$  с применением масляной иммерсии (Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962; Виноградова и др., 1980; Komarek, Fott, 1983; Starmach, 1985; Мошкова, Голлербах, 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b; Царенко, 1990; Komarek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komarek, 2013; Куликовский и др., 2016).

Названия видов приведены по AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2021). Для эколого-географической характеристики видов были использованы материалы публикаций (Баринаева и др., 2006, 2019).

Относительную встречаемость таксонов рассчитывали в процентах от общего числа проб, учитывая число проб, в которых отмечен данный таксон (Девяткин, Митропольская, 2002). На основании значений относительной частоты встречаемости выделяли особо активные виды (с частотой встречаемости  $>75\%$ ); высокоактивные (74–50%), среднеактивные виды (49–23%), малоактивные (22–5%) и неактивные ( $<5\%$ ).

Обилие водорослей оценивали по шкале Стармаха (Водоросли..., 1989), за счетную единицу (экземпляр) принимали отдельную особь. Виды с показателем “5 – очень много, абсолютное преобладание,  $>50$  экз. в препарате” относили к доминантам; с показателем “4 – много, 31–50 экз. в препарате”, – к субдоминантам.

Уровень органического загрязнения озера определяли путем вычисления индексов сапроб-

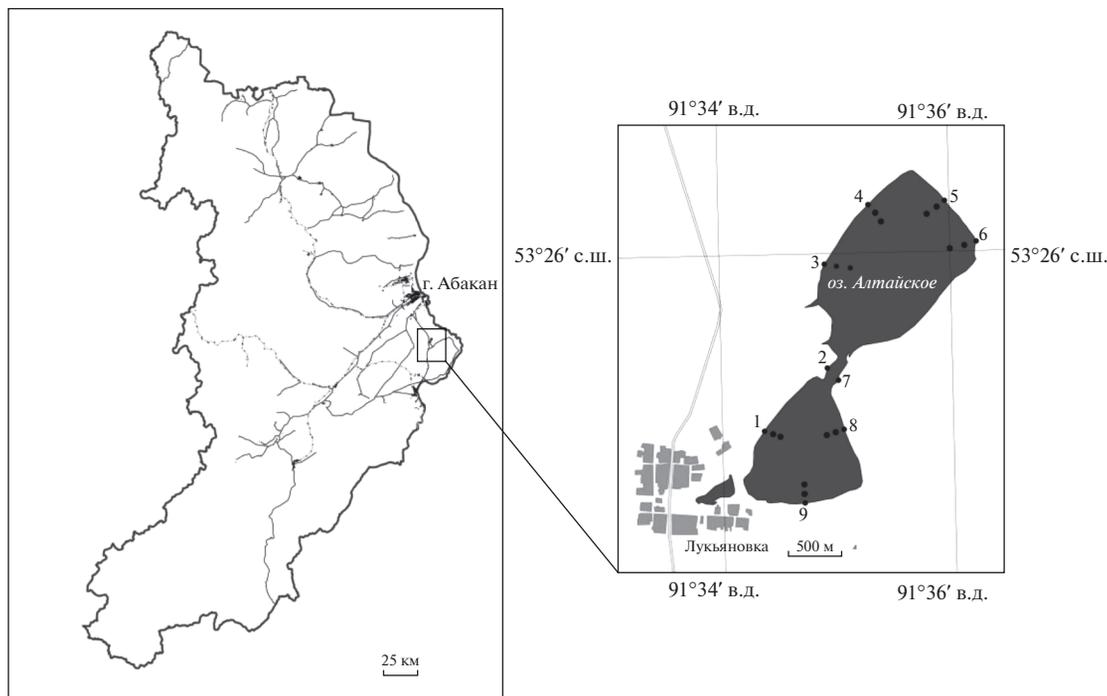


Рис. 1. Карта-схема расположения оз. Алтайское на территории Республики Хакасия и станции отбора проб.

ности (S) Пантле–Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973), с использованием списков индикаторных организмов со значениями их сапробной валентности (Барина и др., 2006, 2019) и частотой встречаемости (обилием) видов в пробе. Класс качества воды устанавливали согласно Руководящему документу 52.24.309-2016 “Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши”.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Видовой состав.** В результате проведенных исследований в оз. Алтайское выявлено 93 вида водорослей, относящихся к 57 родам, 40 семействам, 25 порядкам, 14 классам и 7 отделам: **Bacillariophyta** – *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow, *Anomoeoneis costata* (Kützing) Hustedt, *A. elliptica* Zakrzewsky [Zakrzewski], *A. sphaerophora* Pfitzer, *Brachysira brebissonii* R. Ross, *Chaetoceros muelleri* Lemmermann, *C. wighamii* Brightwell, *Cyclotella* sp., *Cymbella cistula* (Ehrenberg) O. Kirchner, *Cymbella amphicephala* (Nägeli ex Kützing) Krammer, *Epithemia sorex* Kützing, *Eunotia fallax* A. Cleve, *E. lunaris* (Ehrenberg) Grunow, *Fragilaria amphicephaloides* Lange-Bertalot, *F. mesolepta* Rabenhorst, *F. radians* (Kützing) D.M. Williams et Round, *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, *Gomphonema coronatum* Ehrenberg, *G. pumilum* (Grunow) E. Reichardt et Lange-Bertalot, *Halamphora coffeiformis* (C. Agardh) Mereschkowsky, *Haslea spicula* (Hickie)

Bukhtiyarova, *Navicula cincta* (Ehrenberg) Ralfs, *N. margalithii* Lange-Bertalot, *N. oblonga* (Kützing) Kützing, *N. salinarum* Grunow, *N. veneta* Kützing, *Navicymbula pusilla* (Grunow) Krammer, *Neidium ampliatum* (Ehrenberg) Krammer, *Nitzschia commutata* Grunow, *N. frustulum* (Kützing) Grunow, *N. ovalis* H.J. Arnott, *N. sigmoidea* (Nitzsch) W. Smith, *N. supralitorea* Lange-Bertalot, *Pinnularia brebissonii* (Kützing) Rabenhorst, *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M. Williams et Round, *Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkowsky, *Staurosira leptostauron* (Ehrenberg) Kulikovskiy et Genkal, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *T. flocculosa* (Roth) Kützing, *Tryblionella apiculata* W. Gregory, *T. hungarica* (Grunow) Frenguelli, *T. levidensis* W. Smith, *Ulnaria capitata* (Ehrenberg) Compère, *U. ulna* (Nitzsch) Compère); **Cyanoprokaryota** – *Anabaenopsis issatschenkoii* Woronichin, *Anagnostidinium amphibium* (C. Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J.R. Johansen et J. Komárek, *Anathece clathrata* (West et G.S. West) Komárek, Kastovsky et Jezberová, *Arthrospira jenneri* Stizenberger ex Gomont, *Chroococcus turgidus* var. *maximus* Nygaard, *Heteroleibleinia kuetzingii* (Schmidle) Compère, *Jaaginema geminatum* (Schwabe ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, *Leibleinia epiphytica* (Hieronymus) Compère, *L. valderiana* (Gomont) Anagnostidis et Komárek, *Limnospira fusiformis* (Voronichin) Nowicka-Krawczyk, Mühlsteinová et Hauer, *L. maxima* (Setchell et N.L. Gardner) Nowicka-Krawczyk, Mühlsteinová et Hauer, *Limnothrix guttulata* (Goor) I. Umezaki et M. Watanabe, *Nostoc linckia* Bornet ex Bornet et Fla-

hault, *N. punctiforme* Hariot, *Oscillatoria tenuis* C. Agardh ex Gomont, *Oxynema lloydianum* (Gomont) Chatchawan, Komárek, Strunecky, Smarda et Peerapornpisal, *Phormidesmis molle* (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková et Komárek, *Phormidium boryanum* (Bory ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, *P. breve* (Kützing ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, *P. dimorphum* Lemmermann, *P. terebriforme* (C. Agardh ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, *P. variabile* (Wille) Anagnostidis et Komárek, *Pseudanabaena catenata* Lauterborn, *Spirulina major* Kützing ex Gomont, *S. meneghiniana* Zanardini ex Gomont, *S. subtilissima* Kützing ex Gomont, *S. tenerrima* Kützing ex Gomont, *S. tenuissima* Kützing, *Synechococcus salinarum* Komárek, *Synechocystis crassa* Woronichin, *S. salina* Wislouch, *S. sallensis* Skuja, *Trichormus pseudovariabilis* (Woronichin) Komárek et Anagnostidis, *T. reverdattoanus* (T.G. Popova et M. Degterieva) Komárek et Anagnostidis, *Woronichinia naegelianae* (Unger) Elenkin.; **Chlorophyta** – *Tetraselmis arnoldii* (Proshkina-Lavrenko) R.E. Norris, Hori et Chihara, *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, *D. viridis* Teodoresco, *Picocystis salinarum* R.A. Lewin, *Oocystis rhomboidea* Fott, *O. submarina* Lagerheim, *Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing, *Cladophora* sp., *Ctenocladus circinnatus* Borzi.; **Euglenophyta** – *Euglena vermicularis* Proshkina-Lavrenko, *Euglenaformis proxima* (P.A. Dangeard) M.S. Bennett et Triemer.; **Chrysophyta** – *Stephanoporus tubulosus* Pascher); **Xanthophyta** – *Vaucheria* sp.; **Cryptophyta** – *Rhodomonas salina* (Wislouch) D.R.A. Hill et R. Wetherbee.

Ведущее положение по числу таксонов занимали семейства: Bacillariaceae (9% общего числа видов), Fragilariaceae (8%), Naviculaceae, Oscillatoriaceae (по 7%), Spirulinaceae (5%), Microcoleaceae, Nostocaceae (по 4%), они включали 44% выявленных видов. Наиболее богато представлены роды: *Navicula*, *Nitzschia*, *Phormidium*, *Spirulina* (по 5%), *Anomoeoneis*, *Fragilaria*, *Synechocystis*, *Tryblionella* (по 3%). Данные роды охватывали 32% общей флоры. Количество одновидовых семейств – 18 (45%), одновидовых родов – 37 (65%).

Самым высоким видовым богатством отличались диатомовые водоросли – 44 вида, относящиеся к 25 родам, 17 семействам, 10 порядкам и 4 классам. Высокоактивные виды среди диатомей – *Anomoeoneis sphaerophora*, *Halamphora coffeiformis*; среднеактивные – *Anomoeoneis costata*, *Chaetoceros wighamii*, *C. muelleri*, *Navicymbula pusilla*. В планктоне обнаружено 14 видов диатомовых водорослей. Наибольшего развития (с условным обозначением “4 – много” по шкале Стармаха) достигали виды, предпочитающие солоноватые и соленые водоемы: *Chaetoceros muelleri* и *C. wighamii*. В бентосных сообществах выявлено 37 видов диатомовых водорослей. В большом плесе доминировали *Halamphora coffeiformis* и *Navicymbula pusilla*, в грунтах большого и малого плесов – *Anomoeoneis costata*. Только в бентосе большого плеса встречены

представители родов *Tabellaria* и *Eunotia*, не характерные для вод с повышенной минерализацией. В перифитоне присутствовало 19 видов диатомей, доминировали *Navicymbula pusilla* и *Tryblionella hungarica*.

Второе место по видовому разнообразию в оз. Алтайское занимали цианопрокариоты – 35 видов (38%), относящиеся к 21 роду, 13 семействам, 5 порядкам и 1 классу. Особо активным видом, с частотой встречаемости 100% была *Limnospira fusiformis*, среднеактивными видами – *Oscillatoria tenuis* и *Spirulina major*. В планктоне оз. Алтайское присутствовало 10 видов цианопрокариот, в пробах, собранных с донных грунтов – 24 вида, в перифитоне – 14. Доминантом всех альгоценозов (фитопланктона, фитобентоса, фитоперифитона) была *Limnospira fusiformis*, обуславливающая “цветение” воды в летний период. Локально в пробах грунта малого плеса оз. Алтайское доминировали *Anabaenopsis issatschenkoi* и *Arthrospira jenneri*. Вид *Spirulina major* содоминировал в бентосе большого плеса.

Зеленые водоросли представлены в альгофлоре озера девятью видами, относящимися к 6 родам, 6 семействам, 6 порядкам и 5 классам. Большинство видов зеленых водорослей встречалось в большом плесе – 8, в малом плесе – 3 вида, в районе перешейка – 2. В планктоне большого плеса высокоактивный вид *Dunaliella salina* отмечен как субдоминант *Limnospira fusiformis*. Среднеактивные виды *Cladophora glomerata* и *Cladophora* sp. преобладали в обрастаниях высшей водной растительности и на поверхности донных грунтов в районе уреза воды.

Представители эвгленовых водорослей *Euglena vermicularis* и *Euglenaformis proxima* относились к неактивным видам и встречались единично на поверхности ила в малом плесе. Среди золотистых водорослей в планктоне перешейка обнаружен лишь один неактивный вид *Stephanoporus tubulosus*. Из Xanthophyta обнаружены стерильные нити *Vaucheria* sp. (неактивный вид) в донных грунтах большого плеса. Представитель криптофитовых водорослей *Rhodomonas salina* (малоактивный вид) встречался единично в планктоне и бентосе перешейка и малого плеса, а также в обрастаниях большого плеса.

Наибольшее число видов водорослей обнаружено в большом плесе оз. Алтайское – 62 вида. В малом плесе зарегистрировано 53 вида водорослей, в районе перешейка большого и малого плесов 23 вида. Среди водорослевых сообществ наиболее богато видами – фитобентосное (69 видов). В фитопланктоне выявлено 30 видов, в фитоперифитоне – 41 вид водорослей.

**Эколого-географические особенности.** По приуроченности к местообитанию большинство водорослей оз. Алтайское относилось к бентосным

(31% общего количества видов), планктонно-бентосным (27%), планктонным (11%).

В оз. Алтайское представлен широкий спектр индикаторов галобности, среди которых преобладали индифференты (20%), мезогалобы и галофилы (по 18%). Среди полигалобов обнаружено 4 вида (4%): *Leibleinia epiphytica*, *Spirulina major*, *Dunaliella salina*, *D. viridis*. Доминанты или виды с высокой относительной частотой встречаемости относились в основном к мезогалобам: *Limnospira fusiformis*, *Anomoeoneis costata*, *Chaetoceros wighamii*, *Navicymbula pusilla*, *Halamphora coffeiformis*, *Tryblionella hungarica* и др. Галофобы *Eunotia fallax*, *E. lunaris*, *Frustulia rhomboids*, *Neidium ampum*, *Staurosira leptostauron*, *Tabellaria fenestrata* и *T. flocculosa*, доля которых в сумме не превышала 8% всего состава альгофлоры, выявлены в прибрежье (в местах выхода ключей) в единичном количестве.

Анализ распределения водорослей в зависимости от активной реакции среды показал преобладание алкалифилов. Доминирующая в озере цианобактерия *Limnospira fusiformis* – типичный алкалифил, характерна для содовых озер Африки и Азии (Krienitz, Schagerl, 2016). К индифферентам относилось 13% выявленных видов, к ацидофилам – 5% (представители последних – диатомеи, встреченные единично в местах выхода подземных вод). Обнаружено три вида алкалибионтов: *Chaetoceros muelleri*, *C. wighamii*, *Anomoeoneis sphaerophora*. Для 54% видов отношение к рН среды неизвестно.

Из общего числа индикаторных видов сапробности 11% – олиго-альфа-мезосапробионты; 9% – олигосапробионты; 7% – бета-мезосапробионты; 5% – ксено-олигосапробионты; 4% – олиго-бета-мезосапробионты; по 3% бета-олигосапробионты, альфа-мезосапробионты, альфа-бета-мезосапробионты, бета-полисапробионты; по 2% в группах ксеносапробионты, ксено-бета-мезосапробионты, бета-альфа-мезосапробионты и полисапробионты; 1% – олиго-ксеносапробионты. Таким образом, по отношению к сапробности нет явного преобладания какой-либо группы. На основании процентного соотношения индикаторных групп сапробности, рассчитанных индексов сапробности (1.6–2.3), воду озера можно отнести ко II классу качества вод – слабо загрязненная.

Большая часть видов оз. Алтайское (60%) имеет широкое географическое распространение. Группа голарктических видов представлена *Limnotherix guttulata*, *Phormidium boryanum*, голарктических и палеотропических – *Limnospira maxima*, *Pseudanabaena catenata*. Три вида относятся к бореальными: *Synechocystis crassa*, *Staurosira leptostauron*, *Symbopleura amphicephala*. Доминирующая в озере *Limnospira fusiformis* распространена на территории нескольких областей Голарктического и Палеотропического царств: в бореальном

подцарстве Голарктического царства, в древне-средиземноморском подцарстве Голарктического царства (в средиземноморской и сахаро-аравийской областях), а также в африканском подцарстве Палеотропического царства (в Судано-Замбейской области). Также отмечены по одному виду циркумбореальной области (*Euglena vermicularis*) и средиземноморской области (*Navicula margalithii*) Голарктического царства. Из аркто-альпийских организмов обнаружен один таксон – *Frustulia rhomboides*.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Видовое разнообразие водорослей оз. Алтайское сопоставимо с таковым некоторых соленых озер Хакасии и Тывы: оз. Улугколь (Макеева, Науменко, 2016); оз. Шара-Нур (Науменко, 1997), оз. Ши́ра (Макеева, 2011), оз. Беле (Макеева, Науменко, 2013), Убсу-Нур (Науменко, 2003). Как и в оз. Алтайское, в этих озерах в общих таксономических списках преобладали диатомовые и цианопрокарисы. В тройку ведущих родов входили *Nitzschia* и *Navicula*, занимая места от первого до третьего. Третий ведущий род менялся. Наибольшее богатство видов характерно для бентосных и перифитонных сообществ, наименьшее количество видов зарегистрировано в планктоне. Т.Г. Попова (1946) также указывала на обедненный состав фитопланктона в соленых озерах Хакасии (Ши́ра, Горькое, Большое Утичье, Джирим, Шунет). Общие черты исследованных соленых озер и оз. Алтайское – большая площадь мелководий, при значительных колебаниях площади и глубины водоемов, минерализации воды, степени зарастания.

Видовой состав водорослей в водоемах определяется комплексом абиотических факторов, из которых большее значение имеет минерализация воды (Водоросли, 1989; Баринаева и др., 2019). В оз. Алтайское встречены водоросли, характерные как для пресноводных, так и мезогалобных и морских экосистем. Виды *Chaetoceros muelleri* и *C. wighamii*, распространенные в опресненных морских водах и внутриконтинентальных солоноватых водоемах, на территории Сибири также встречены в озерах Убсунур (Науменко, 2003), Чаны (Ермолаев, 2009), Соленое – только *C. muelleri* (Баженова, Коновалова, 2012). Мезогалобные виды *Halamphora coffeiformis* и *Navicymbula pusilla*, доминирующие в оз. Алтайское, широко распространены в водоемах Хакасии с различной степенью минерализации (Попова, 1947; Макеева, 2012). *Navicymbula pusilla* – один из наиболее часто встречаемых видов в минерализованном монгольском оз. Дерген-Нуур (Alonso et al., 2019).

Интересно присутствие в озере галофобов и ацидофилов. Как уже отмечали, они встречались единично в местах выхода подземных вод. Но, тем не менее, их развитие в соленом водоеме мо-

жет свидетельствовать о более широкой экологической амплитуде данных видов по отношению к минерализации воды и значению активной реакции среды. С другой стороны, основные доминирующие виды оз. Алтайское, субдоминанты, либо виды с высокой частотой встречаемости, относятся к группам мезогалобов и алкалифилов.

Доминант оз. Алтайское – *Limnospira fusiformis* встречается в различных озерах мира, как пресных, так и соленых, вплоть до гипергалинных, но всегда предпочитает щелочные условия среды. Массовой вегетации водоросль достигает в тропических содовых озерах (Dadheech et al., 2010; Schagerl et al., 2015). Доминирование данного вида отмечено в фитопланктоне соленых озер Онон-Торейской равнины (Северо-Восточная Монголия) (Афони́на, Ташлыкова, 2016). Среди соленых озер Сибири, в составе альгоценозов которых зарегистрирован данный вид, следует отметить оз. Танатар – II, оз. Танатар – III (Воронихин, 1934) и оз. Соленое (Баженова, Коновалова, 2012).

Один из преобладающих видов в планктоне исследуемого озера *Dunaliella salina* в Сибири встречается в качестве доминанта в планктоне соленых озер степной зоны Алтайского края, Тюменской области, Республики Хакасия (Веснина и др., 2005; Валеева, 2006; Макеева, Науменко, 2016) и др.

Массовое развитие *Cladophora glomerata*, преобладающей в районе уреза воды оз. Алтайское, характерно для соленых водоемов Сибири: оз. Кулундинское в Алтайском крае (Веснина и др., 2005); озер Ши́ра и Улугколь в Хакасии (Макеева, 2012).

Интересна находка *Picocystis salinarum*. Этот неактивный для оз. Алтайское вид массово развивался в планктоне оз. Танатар VI (Алтайский край) при минерализации 250 г/л (Сапожников и др., 2016). В соленых озерах Восточной Африки *Picocystis salinarum* содоминировал *Limnospira fusiformis*, иногда подавляя ее развитие (Krienitz et al., 2012). Авторы указывают, что необходимо провести дополнительные исследования для определения характера взаимодействия данных видов. По данным (Palmá et al., 2020), массовое развитие *Limnospira fusiformis* способствует снижению проникновения света в толще воды, что создает благоприятные условия для развития теневыносливого *Picocystis salinarum*.

Солоновато-водный и морской вид *Rhodomonas salina*, развивающийся в оз. Алтайское, зарегистрирован и в пресных, и сильноминерализованных водоемах России (Науменко, 2014), отмечен в фитопланктоне оз. Соленое в г. Омск (Баженова, Коновалова, 2012).

Золотистая водоросль *Stephanoporus tubulosus*, обнаруженная в оз. Алтайское, не характерна для соленых водоемов, хотя известна ее находка в тех-

ногенном минерализованном озере Украины при минерализации 22.08 г/л (Горбулин и др., 2003).

**Выводы.** Альгофлора оз. Алтайское характеризуется невысоким видовым богатством (93 вида водорослей). Как и во многих соленых озерах юга Сибири, в водоеме преобладали диатомеи и цианопрокарियो́ты. Ведущие позиции по обилию во всех сообществах занимала *Limnospira fusiformis*, вызывающая “цветение” воды летом. Периодически в состав доминантного комплекса входили *Anabaenopsis issatschenkoi*, *Arthrospira jenneri* и *Spirulina major*. Среди других отделов водорослей наиболее массовыми видами были из диатомовых – *Chaetoceros muelleri*, *C. wighamii*, *Halamphora coffeiformis*, *Navicymbula pusilla*, *Anomoeoneis costata*, *A. sphaerophora*, *Tryblionella hungarica*, из зеленых – *Dunaliella salina*, *Cladophora glomerata*, *Cladophora* sp. Основные доминирующие виды характерны для соленых континентальных водоемов России, кроме *Limnospira fusiformis*, имеющей ограниченное распространение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афони́на Е.Ю., Ташлыкова Н.А. 2016. Взаимосвязь планктонных сообществ с факторами окружающей среды в степных соленых водоемах // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.). Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. Т. 2. С. 233.
- Баженова О.П., Коновалова О.А. 2012. Фитопланктон озера Соленого (г. Омск) как перспективный источник биоресурсов // Сиб. экол. журн. Т. 5. № 3. С. 375.
- Балонов И.М. 1975. Подготовка водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. Москва: Наука.
- Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio.
- Баринова С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. 2019. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа: Издательство Университета Хайфы.
- Валеева Э.И. 2006. Некоторые сведения об альгофлоре озер юга лесостепной зоны Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. № 6. С. 26.
- Веснина Л.В., Митрофанова Е.Ю., Лисицина Т.О. 2005. Планктон соленых озер территории замкнутого стока (юг Западной Сибири, Россия) // Сиб. экол. журн. № 2. С. 221.
- Виноградова К.Л., Голлербах М.М., Зауер Л.М. и др. 1980. Зеленые, красные и бурые водоросли // Определи-

- тель пресноводных водорослей СССР. Вып. 13. Ленинград: Наука.
- Водоросли*. Справочник. 1989. Киев: Наук. думка.
- Воронихин Н.Н.* 1934. К биологии минерализованных водоемов Кулундинской степи // Тр. СОПС АН СССР. Сер. Сибирская. Вып. 8. Кулундинская экспедиция Академии наук СССР 1931–1933 гг. Ч. 1. Общая характеристика района и пути использования соляных озер Кулундинской степи. Ленинград: Изд-во АН СССР. С. 177.
- Горбанева Т.Б., Гаевский Н.А., Ануфриева Т.Н. и др.* 2006. Определение первичной продукции фитоперифитона озера Ши́ра (Хакасия) на основе флуоресцентного метода // Вестник Красноярского гос. ун-та. Т. 5. С. 93.
- Горбулин О.С., Догадина Т.В., Косик Е.Л.* 2003. Водоросли техногенных соленых озер Донбасса // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія. № 5(3). С. 80.
- Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г.* 1973. Общая гидрология. Ленинград: Гидрометеиздат.
- Девяткин В.Г., Митропольская И.В.* 2002. Встречаемость видов водорослей как показатель биологического разнообразия альгоценозов // Динамика разнообразия гидробионтов во внутренних водоемах России. Ярославль: Изд-во Ярослав. гос.-техн. ун-та. С. 5.
- Дегерменджи Н.Н., Зотина Т.А., Толмеев А.П.* 1996. Структурно-функциональные компоненты планктонного сообщества экосистемы озера Ши́ра (обзор и эксперименты) // Сиб. экол. журн. № 5. С. 439.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М.* 1962. Желто-зеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Москва: Изд-во АН СССР.
- Егоров А.Н.* 2001. Лимногенез соленых озер: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Санкт-Петербург.
- Ермолаев В.И.* 2009. Водоросли – показатели степени солености воды водоемов системы озера Чаны (Западная Сибирь, Россия) // Гидробиол. журн. Т. 45. № 2. С. 22.
- Заварзин Г.А.* 1993. Эпиконтинентальные содовые водоемы как предполагаемые реликтовые биотопы формирования наземной биоты // Микробиология. Т. 62. № 5. С. 789.
- Заварзин Г.А.* 2007. Алкалофильные микробные сообщества // Тр. Ин-та микробиологии им. С.Н. Виноградского. Вып. XIV. Алкалофильные микробные сообщества. Москва: Наука. С. 58.
- Зотина Т.А., Толмеев А.П.* 1997. Видовой состав и вертикальная структура фито- и зоопланктона озера Ши́ра // Вестник Хакасского гос. ун-та им. Н.Ф. Катанова. Вып. IV. Сер. 4. Биология. Медицина. Химия. С. 69.
- Измайлова А.В., Корнеева Н.Ю.* 2020. Озерность территории Российской Федерации и определяющие ее факторы // Вод. ресурсы. Т. 47. № 1. С. 16.
- Клоптова Н.Г.* 2004. Гидроминеральные лечебные ресурсы озер Минусинской котловины: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск.
- Корнева Л.Г., Глуценко Г.Ю.* 2020. Состав и сезонная сукцессия фитопланктона Таганрогского залива Азовского моря и нижнего течения р. Дон в условиях изменяющегося климата // Биология внутр. вод. № 1. С. 18.  
<https://doi.org/10.31857/S032096522001009X>
- Кривошеев А.С.* 1991. Лечение и отдых на озерах Красноярского края. Красноярск: МП “Красноярск”.
- Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И. и др.* 2016. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань.
- Макеева Е.Г.* 2011. Альгофлора. Водоросли озера Ши́ра // Природный комплекс и биоразнообразие участка “Озеро Ши́ра” заповедника “Хакасский”. Абакан: Хакасское книжное изд-во. С. 150.
- Макеева Е.Г.* 2012. Водоросли озер степной части Государственного природного заповедника “Хакасский”: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск.
- Макеева Е.Г., Науменко Ю.В.* 2013. Альгофлора. Водоросли озера Беле // Природный комплекс и биоразнообразие участка “Озеро Беле” заповедника “Хакасский”. Абакан: Хакасское книжное изд-во. С. 67.
- Макеева Е.Г., Науменко Ю.В.* 2015. Таксономическая структура и экологическая характеристика альгофлоры озера Беле (Республика Хакасия) // Растительный мир Азиатской России. № 2(18). С. 8.
- Макеева Е.Г., Науменко Ю.В.* 2016. Водоросли минерализованного озера Улугколь (Россия, Хакасия) // Растительный мир Азиатской России. № 1(21). С. 3.
- Макеева Е.Г., Осипова Н.В.* 2019. Диатомовые водоросли минерализованного озера Алтайское (Республика Хакасия) // Вопросы современной альгологии. № 2(20). С. 123.  
[https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-123-126](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-123-126)
- Мистрюков А.А.* 1991. Геоморфологическое районирование Назаровско-Минусинской межгорной впадины. Новосибирск: ОИГГМ СО АН СССР.
- Мошкова Н.А., Голлербах М.М.* 1986. Зеленые водоросли. Класс улотриксовые (1) // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10(1). Ленинград: Наука.
- Науменко Ю.В.* 1997. Первые сведения об альгофлоре соленого озера Шара-Нур (Южная Тува) // Ботан. журн. Т. 82. № 4. С. 39.
- Науменко Ю.В.* 2003. Флора водорослей оз. Убсу-Нур // Сиб. экол. журн. № 4. С. 415.
- Науменко Ю.В.* 2014. Криптофитовые водоросли в водотоках и водоемах Западной Сибири // Растительный мир Азиатской России. № 1 (13). С. 3.
- Парначев В.П., Вишневецкий И.И., Бэнкс Д. и др.* 2003. Минеральные озера Республики Хакасия (общая характеристика и состав вод) // Вопросы географии Сибири. Вып. 25. С. 118.

- Плащев А.В., Чекмарев В.А. 1967. Гидрография СССР. Ленинград: Гидрометеоздат.
- Попова Т.Г. 1946. К познанию альгофлоры водоемов северной Хакасии. Ч. I. Альгофлора водоемов Ширинской (Качинской) степи // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол. Т. 1. Вып. 2. С. 41.
- Попова Т.Г. 1947. К познанию альгофлоры водоемов северной Хакасии. Ч. II. Водоросли Июсо-Ширинской и Ачинской степей // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол. Т. 2. Вып. 1. С. 73.
- Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю., Никитин М.А. и др. 2016. Ценозы фототрофных водорослей ультрагалинных озер Кулундинской степи (Алтайский край, Российская Федерация) // Океанология. Т. 56. № 1. С. 101.  
<https://doi.org/10.7868/S0030157416010172>
- Сухаревич В.И., Поляк Ю.М. 2020. Глобальное распространение цианобактерий: причины и последствия (обзор) // Биология внутр. вод. № 6. С. 562.  
<https://doi.org/10.31857/S0320965220060170>
- Царенко П.М. 1990. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР Киев: Наук. думка.
- Шадрин Н.В., Симонов В.Г., Ануфриева Е.В. и др. 2018. Антропогенная трансформация озера Кызыл ЯР (Крым): результаты многолетних исследований (1985–2017 гг.) // Аридные экосистемы. Т. 24. № 4(77). С. 80.
- Энциклопедия Республики Хакасия. 2007. Красноярск: Поликор.
- Alonso M., Nergui S., Garcia-Murcia A. et al. 2019. Contribution to the Lake Algal Flora and Microcrustacean Fauna of the Great Lakes Depression, Mongolia // Mong. J. Biol. Sci. V. 17(1). P. 41.  
<https://doi.org/10.22353/mjbs.2019.17.06>
- Bolobanshchikova G.N., Kulikovskiy M.S., Rogozin D.Yu. 2018. Diatoms in the Bottom Sediments of Two Closely Located Lakes in Khakassia // J. Sib. Fed. Univ. Biol. V. 11(4). P. 321.  
<https://doi.org/10.17516/1977-1389-0075>
- Dadheech P.K., Ballot A., Casper P. et al. 2010. Phylogenetic relationship and divergence among planktonic strains of *Arthrospira* (Oscillatoriales, Cyanobacteria) of African, Asian and American origin deduced by 16S-23S ITS and phycocyanin operon sequences // Phycologia. V. 49(4). P. 361.  
<https://doi.org/10.2216/09-71.1>
- Erdmann N., Hagemann M. 2001. Salt Acclimation of Algae and Cyanobacteria: A Comparison // Algal adaptation to environmental stresses: physiological, biochemical and molecular mechanisms. Berlin: Springer. P. 323.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org>; searched on 23 March 2021.
- Komarek J. 2013. Cyanoprokaryota 3. Teil 3. Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 19/3. Berlin: Springer Spektrum.
- Komarek J., Anagnostidis K. 1998. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 19/1. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.
- Komarek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 19/2. München: Spektrum, Akad. Verl.
- Komarek J., Fott B. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung Chlorococcales // Das phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. Bd 16. Teil 7. Hf. 1. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verl.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/2. Jena: Gustav Fischer Verl.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart: Gustav Fischer Verl.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Geamtliteraturverzeichnis // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/4. Stuttgart: Gustav Fischer Verl.
- Krienitz L., Bock C., Kotut K. et al. 2012. *Picocystis salinarum* (Chlorophyta) in saline lakes and hot springs of East Africa // Phycologia. V. 51(1). P. 22.  
<https://doi.org/10.2216/11-28.1>
- Krienitz L., Schagerl M. 2016. Tiny and Tough: Microphytes of East African Soda Lakes // Soda Lakes of East Africa. Springer intern. publ. Switzerland. P. 149.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-28622-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28622-8_6)
- Lind L., Schuler M.S., Hintz W.D. et al. 2018. Salty fertile lakes: how salinization and eutrophication alter the structure of freshwater communities // Ecosphere. V. 9(9). P. 1.  
<https://doi.org/10.1002/ecs2.2383>
- Pálmai T., Szabó B., Kotut K. et al. 2020. Ecophysiology of a successful phytoplankton competitor in the African flamingo lakes: the green alga *Picocystis salinarum* (Picocystophyceae) // J. Appl. Phycol. V. 32. P. 1813.  
<https://doi.org/10.1007/s10811-020-02092-6>
- Schagerl M., Burian A., Gruber-Dorninger M. et al. 2015. Algal communities of Kenyan soda lakes with a special focus on *Arthrospira fusiformis* // Fottea. V. 15(2). P. 245.  
<https://doi.org/10.5507/fot.2015.012>
- Sládeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. H. 7. Stuttgart: Schweizerbart.
- Starmach K. 1985. Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd 1. Chrysophyceae und Haptophyceae. Jena: Gustav Fischer Verl.
- Williams W.D. 2001. Anthropogenic salinization of inland waters // Hydrobiologia. V. 466. P. 329.

## The Algae of the Salt Lake Altaiskoe (Republic of Khakassia): Taxonomic Composition and Ecological Features

E. G. Makeeva<sup>1, 2, \*</sup> and N. V. Osipova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Khakassky State Nature Reserve, Abakan, Russia*

<sup>2</sup>*Katanov Khakass State University, Abakan, Russia*

\*e-mail: meg77@yandex.ru

The results of studying the flora and dominant complexes of algae of the salt lake Altaiskoe are presented. 93 species belonging to 57 genera, 40 families, 25 orders, 14 classes and 7 divisions were identified (Bacillariophyta – 44 species, Cyanoprokaryota – 35, Chlorophyta – 9, Euglenophyta – 2, Chrysophyta – 1, Xanthophyta – 1, Cryptophyta – 1). The dominant of all algae cenosis of the lake Altaiskoe was *Limnospira fusiformis* (Voronichin) Nowicka-Krawczyk, Mühlsteinová et Hauer, which caused the blooming of water in summer.

*Keywords:* algae, species composition, salt lake, Republic of Khakassia