

## Таксономический состав и эколого-географическая характеристика фитопланктона Кулундинского озера (Алтайский край)

## Taxonomic composition and ecological and geographical characteristics of phytoplankton of Kulundinsky Lake (Altai Territory)

Косачева Ю. Н.<sup>1</sup>, Митрофанова Е. Ю.<sup>2</sup>

Kosacheva Yu. N.<sup>1</sup>, Mitrofanova E. Yu.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»), г. Барнаул, Россия. E-mail: Kosacheva.july@yandex.ru

<sup>1</sup> Altai branch of VNIRO («AltaiNIRO»), Barnaul, Russia

<sup>2</sup> Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия. E-mail: mitelena-09@mail.ru

<sup>2</sup> Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

**Реферат.** Представлены результаты многолетних исследований таксономического и эколого-географического разнообразия фитопланктона Кулундинского озера. В составе сообществ планктона выявлено 192 таксона водорослей и цианобактерий из 7 отделов, 15 классов, 38 порядков, 63 семейств и 102 родов. В таксономическом спектре преобладают цианобактерии и зеленые водоросли при значительном участии диатомовых. В эколого-географическом плане основу планктона составляют широко распространенные представители Голарктического царства (космополитные и бореальные виды), по отношению к солености и температуре воды – индифференты, к активной реакции среды – индифференты и алкалифилы. Доля видов-индикаторов сапробности водной среды составляет 42,7 %, среди которых преобладают β-мезосапробы.

**Ключевые слова.** Алтайский край, виды-индикаторы, Кулундинское озеро, сапробность, таксономический состав, фитопланктон, эколого-географическая характеристика.

**Summary.** The results of long-term studies of the taxonomic and ecological-geographical diversity of phytoplankton of Kulundinsky Lake are presented. 192 taxa of algae and cyanobacteria of 7 divisions, 15 classes, 38 orders, 63 families, 102 genera were identified in the plankton communities. The taxonomic spectrum is dominated by cyanobacteria and greens, with a significant participation of diatoms. The basis of plankton diversity consists of widespread representatives of the Holarctic kingdom (cosmopolitan and boreal forms). In relation to the salinity and temperature of the water, indifferents predominate, to the active reaction of the medium – indifferents and alkaliphiles. The share of indicator species of saprobity of the aquatic environment is 42.7 %. β-mesosaprobes predominate among the indicators of saprobity.

**Key words.** Algae, ecological and geographical characteristics, indicator species, Kulundinsky Lake, phytoplankton, saprobity, taxonomic composition.

Экосистемы внутренних соленых вод играют значительную роль в биосфере и жизни человека. Это уникальные и относительно простые природные лаборатории, биоразнообразие и функциональность которых зависят от климата, солености, многих других абиотических и биотических параметров и антропогенной деятельности (Егоров, 2015; Shadrin et al., 2023). На Земле основной объем соленой воды, или 96 %, сосредоточен в океанах и только 3,5 % – во внутренних водах, причем более 99 % этих вод находятся под землей, а 55 % их общего объема – это соленая вода. Остальной объем внутренних вод соответствует различным типам поверхностных и подземных вод. Доминирующими водными объектами поверхностных вод являются озера, при этом соленые озера по общему объему (85400 км<sup>3</sup>) близки к общему объему пресных (91000 км<sup>3</sup>). Гипергалинные озера широко распространены на всех континентах, в первую очередь в засушливых и полузасушливых районах, и они экологически разнообразны, причем соленость варьирует от солоноватой до гипергалинной. Разнообразие внутренних соленых озер с точки зрения размера, геохимических, химико-физических и биотических характеристик огромно (Williams, 2002).

Озера с соленой водой занимают ~6 % (~20000 км<sup>2</sup>) площади водной поверхности естественных водоемов Российской Федерации (Измайлова, Корнеенкова, 2020; Макеева, Осипова, 2022). В южной

равнинной части Западной Сибири, расположенной в зоне недостаточного увлажнения, озерность в среднем составляет примерно 2 %. По определению С. В. Григорьева (1958), «озерность» или коэффициент озерности бассейнов рек, выраженный в процентах, представляет отношение суммарной площади озер в данном бассейне реки или его части, или на любой оконтуренной территории к площади этого бассейна или территории. Наибольшая часть средних и больших озер приходится на юг Западной Сибири (примерно 1 %) (Измайлова, Корнеевкова, 2020). Среди степных территорий Западной Сибири своеобразием природных условий и особенностями экологического состояния выделяется бессточная область Обь-Иртышского междуречья. В пределах Российской Федерации она простирается в границах трех субъектов – Новосибирской и Омской областей, Алтайского края. Характерной особенностью территории является отсутствие крупных водотоков при наличии большого количества озер и малых рек. К пониженным центральным частям приурочены крупные озера, среди которых два наиболее крупных озера Западной Сибири: Чаны и Кулундинское. Их считают остаточными водоемами существовавшего здесь в прошлом обширного озерного бассейна (Цимбалеи, Андреева, 2015). В физико-географическом отношении это степная и лесостепная зональные области Западной Сибири, в том числе подзоны сухой и засушливой степи (Винокуров, Цимбалеи, 2006).

Среди соленых озер юга Западной Сибири большой интерес представляет Кулундинское озеро. Оно является самым крупным водоемом Кулундинской равнины. Кулундинское озеро образует вместе с впадающими в него реками Кулундой и Суеткой и оз. Кучукское с его притоком р. Кучук единую озерно-речную геосистему. Площадь водосбора озера составляет 24000 км<sup>2</sup>, площадь его акватории колеблется в зависимости от наполнения в пределах 615–770 км<sup>2</sup>, средняя глубина в пределах 2,6–3,2 м, максимальная – 4,9 м (данные АлтайНИРО; Водоемы Алтайского края ..., 1999; Васильев и др., 2005). По показателям глубин и объему водной массы наполнение озера с 2020 г. приблизилось к среднему.

Показатель «открытости» озера, определяющий условия стратификации (или соотношение площади зеркала и средней глубины) и позволяющий судить о степени перемешивания водных масс (Трифонов, 1990), для Кулундинского озера составляет 280. Это очень высокое значение показателя открытости экосистемы озера (Тальских, Шардакова, 2019), что указывает на то, что в Кулундинском озере отсутствует хорошо выраженная стратификация, а степень перемешивания водных масс из-за сильных ветров – высокая. Коэффициент развития береговой линии (К), характеризующийся соотношением длины береговой линии озера к длине окружности круга, невысокий – 1,86. Известно, что при  $K = 1$  береговая линия стремится к равновесной, т. е. к кругу, поэтому форма Кулундинского озера близка к округлой форме. Большая площадь водного зеркала и мелководность озера способствуют перемешиванию вод вследствие ветровых процессов, что ведет к улучшению режима внутренней циркуляции водной массы (Шигапов и др., 2011). Морфометрия котловины характеризуется как блюдцеобразная, округлая, низкая. Берега низкие, местами с солонцово-солончаковыми комплексами, заболоченные, с хорошо выраженными лиманами. Кулундинское озеро является бессточным (Ресурсы поверхностных вод, 1962; Водоемы Алтайского края ..., 1999). Геологические, гидрогеологические и физико-географические условия бассейна озера определяют состав вод притоков и питающих озеро подземных вод и, в конечном счете, химический состав его воды (Васильев и др., 2005). Минерализация воды в Кулундинском озере (от 52,6 до 166,4 г/л) по классификации О. А. Алекина (1970) соответствует типу гипергалинных или соляных озер. Все это создает особые условия для развития фитопланктона в озере.

Пробы фитопланктона отбирали путем зачерпывания воды с поверхности в период открытой воды с апреля по октябрь 2001–2022 гг. Объем проб составлял 1,0–2,0 л. В качестве фиксатора использовали 40%-й формалин. Сгущение проб проводили отстойным методом, доведив объем пробы методом декантации до 50 мл (Киселев, 1969). Одновременно с отбором измеряли температуру, pH и прозрачность воды. Подсчет водорослей осуществляли в камере Нажотта объемом 0,01 мл и 0,05 мл с помощью световых микроскопов Laboval 4 (Karl Zeiss, Germany) и Olympus CX 43 (Japan). Для идентификации водорослей использовали классические отечественные и зарубежные определители. Таксономические названия видов и классификацию сверяли по международной базе данных Algbase (Guiry, Guiry, 2023).

В период с 2001–2022 гг. в составе фитопланктона Кулундинского озера выявлено 192 таксона, рангом ниже рода, относящихся к 7 отделам, 15 классам, 38 порядкам, 63 семействам и 10 родам (табл. 1).

Таблица 1

Таксономический спектр и насыщенность фитопланктона Кулундинского озера 2001–2022 гг.

Отдел	Число таксонов						
	Классы	Порядки	Семейства	Роды	Виды	Виды, разновидности и формы	% от общего числа видов, разновидностей и форм
Cyanobacteria	1	4	13	26	60	60	31,3
Ochrophyta (Bacillariophyta, Chrysophyta, Xanthophyta)	6	17	19	26	47	47	24,5
Cryptophyta	1	1	1	4	8	8	4,2
Miozoa (Dinophyta)	1	3	3	3	3	4	2,1
Euglenozoa (Euglenophyta)	2	2	5	5	9	11	5,7
Chlorophyta	3	10	21	37	60	61	31,8
Charophyta	1	1	1	1	1	1	0,5
Всего:	7	15	38	102	188	192	100

Наиболее разнообразными по числу таксонов являются зеленые водоросли и цианобактерии, им принадлежит ведущая роль в формировании видового состава фитопланктона. Третье ранговое место занимают диатомовые водоросли (из отд. Ochrophyta) (47 видов, разновидностей и форм, или 24,5 %), выделяются и эвгленовые водоросли, а на остальные отделы приходится по 1–8 видов (рис. 1). В семейственном спектре наиболее крупные по числу видов 11 семейств включают 97 видов, разновидностей и форм, которые принадлежат к отделам цианобактерии: Oscillatoriaceae (23 видов), Synechococcaceae (8), Merismopediaceae (7); зеленых: Scenedesmaceae (9), Chlamydomonadaceae (10), Selenastraceae (9), Volvocaceae (6), Oocystaceae (6); диатомовых: Bacillariaceae (6), Fragilariaceae (7) и криптофитовых: Cryptomonadaceae (6 видов) (рис. 2А). Ведущие по видовой наполненности 7 родов объединяют 47 видов, разновидностей и форм из отделов цианобактерий, зеленых, диатомовых и эвгленовых (рис. 2Б).

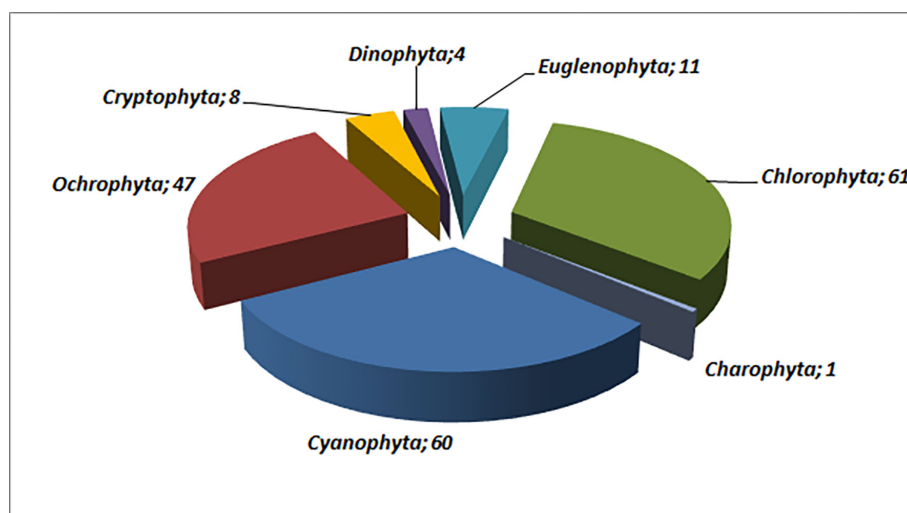


Рис. 1. Соотношение отделов в фитопланктоне Кулундинского озера по количеству таксонов.

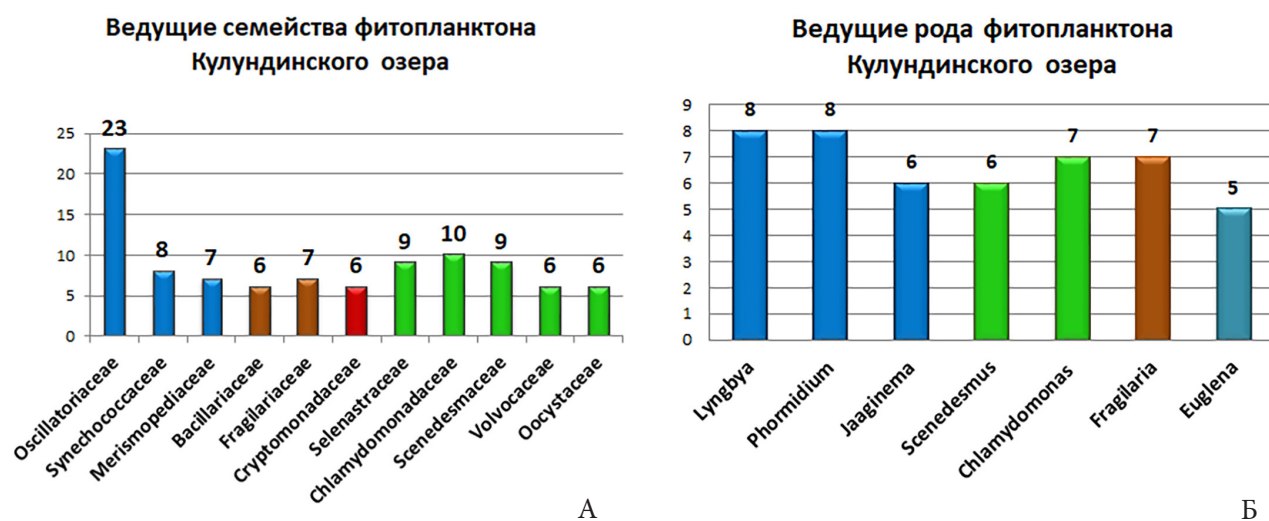


Рис. 2. Ведущие семейства (А) и роды (Б) фитопланктона Кулундинского озера.

Сопоставление данных по таксономическому составу фитопланктона в различные периоды выявило, что состав ядра альгофлоры практически стабилен, но от года к году можно выделить некоторые особенности. Таксономическое разнообразие фитопланктона в целом то увеличивалось, то уменьшалось, а также происходили некоторые изменения в соотношении таксонов высокого ранга (увеличивалось количество диатомовых, уменьшалось количество цианобактерий и наоборот). Все эти изменения обусловлены нестабильным водным режимом Кулундинского озера, когда в маловодные периоды гидрологического цикла наблюдается обмеление озера и повышение солености воды, что находит отражение в общем составе и соотношении водорослей в планктоне (рис. 3). Доля цианобактерий в фитопланктоне озера возрастает в маловодные годы ввиду устойчивости многих видов этой группы к повышению общей солености воды.

При проведении фитогеографического анализа состава фитопланктона отмечено преобладание водорослей-космополитов (75,4 % от числа видов-индикаторов), голарктических (11,3 %) и бореальных (9,4 %) видов (рис. 4). Среди космополитов в составе фитопланктона были зарегистрированы *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerbach, *Chrysococcus rufescens* Klebs, *Amphora ovalis* (Kütz.) Kütz., *Schroederia setigera* (Schröder) Lemm., а из обитателей умеренных широт *Spirulina tenuissima* Kütz., *Tryblionella levidensis* W.Smith, из аркто-альпийских организмов *Cymbella stuxbergii* (Cleve) Cleve. Многочисленные исследования фитопланктона различных соленых водоемов умеренной зоны и сравнительный анализ его экологической структуры подтверждают, что в таких водоемах преобладают именно космополиты с некоторым участием бореальных видов (Яценко-Степанова и др., 2014; Ташлыкова, 2017; Макеева, Осипова, 2022).

Эколого-географический анализ планктонной альгофлоры (табл. 2) показал, что по местообитанию из 115 таксонов с известной характеристикой преобладают планктонные виды – 50 (43,5 %). В этой группе наибольшим разнообразием характеризовались зеленые водоросли (52 %), это преимущественно виды порядка Sphaeropleales. Планктонно-бентосные виды представлены 30 таксонами (26,1 %), здесь лидируют цианобактерии – 15 (50 %), отдел Chlorophyta менее разнообразен – 10 (33,3 %). Из бентосных организмов – 23 таксона (20 %) наибольшим разнообразием отличались диатомовые – 16 (69,6 %) из отдела Ochrophyta. Отмечены были и эпифитные формы – 7 (6,1 %). *Jaaginema woronichinii* (Anisimova) Anagnostidis et Komárek из отдела Cyanobacteria, *Lagynion scherffellii* Pascher из отдела Ochrophyta могут массово обрастать нитчатые водоросли, а, попадая в фитопланктон, могут давать высокие значения численности, как отмечают некоторые исследователи (Горбулин, 2013). Из представителей обрастателей субстрата – 5 таксонов (4,3 %) – отмечены в основном водоросли из отдела цианобактерий: *Lyngbya limnetica* Lemm, виды рода *Phormidium*.

Отсутствие в озере течений обуславливают развитие в планктоне данного водоема водорослей, предпочитающих стояче-текучие и стоячие воды. По отношению к фактору течения известны характеристики для 55 видов, из них большая часть – обитатели стояче-текучих вод – 35 таксонов (63,6 %), а 18 таксонов (32,7 %) – стоячих, причем 21 таксон (60 %) из любителей стояче-текучих условий обитания –

представители отдела Chlorophyta. Стоит отметить, что водные массы озера подвержены полному перемешиванию по вертикали и в горизонтальном отношении ввиду значительному ветровому воздействию на значительную по величине и мелководную по глубине акваторию (Васильев и др., 2005).

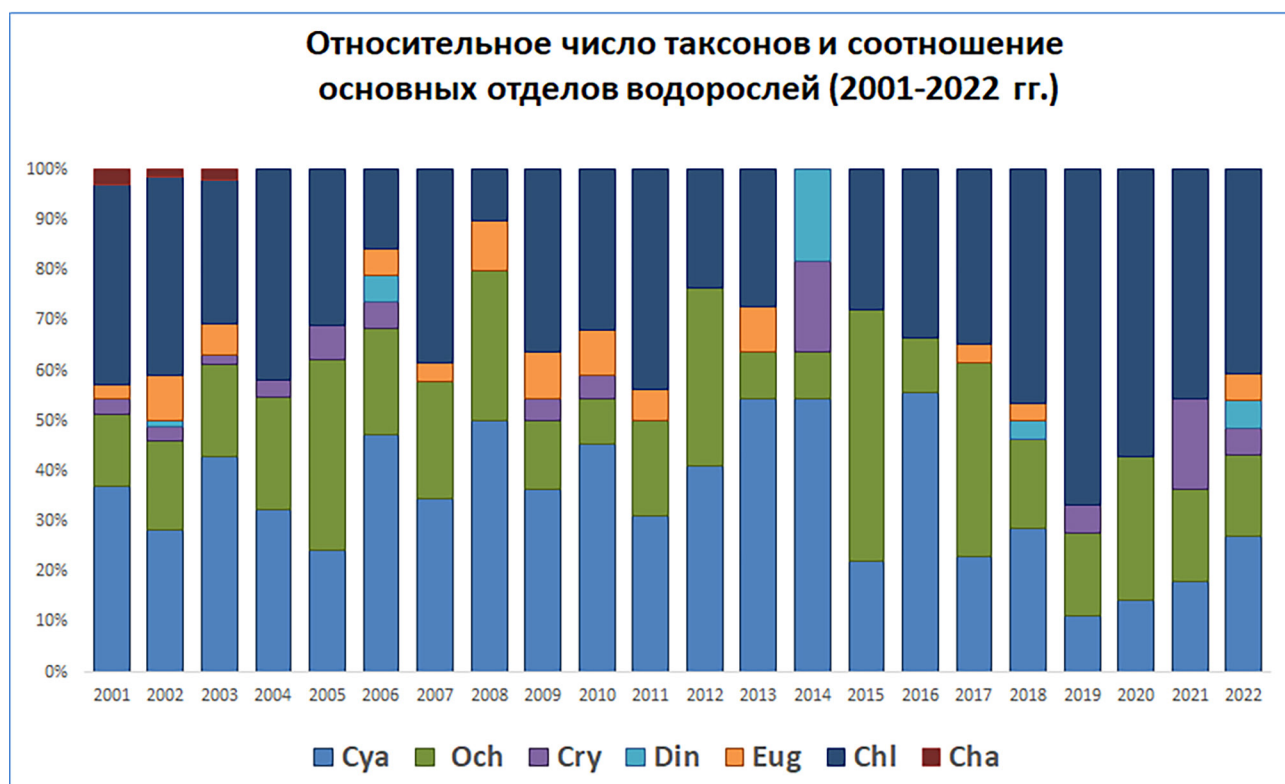
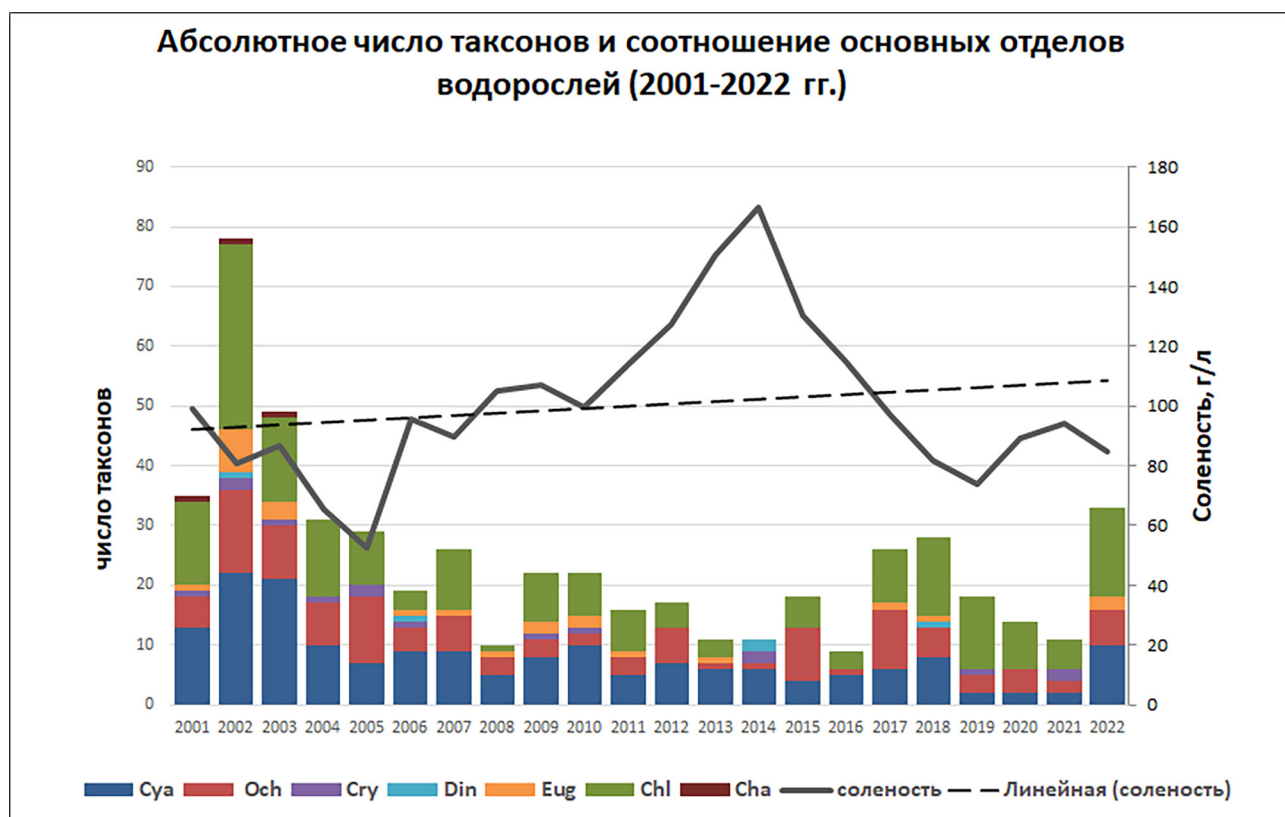


Рис. 3. Абсолютное (А) и относительное (Б) число таксонов, соотношение основных отделов водорослей в фитопланктоне и соленость воды Кулундинского озера с 2001 по 2022 гг.



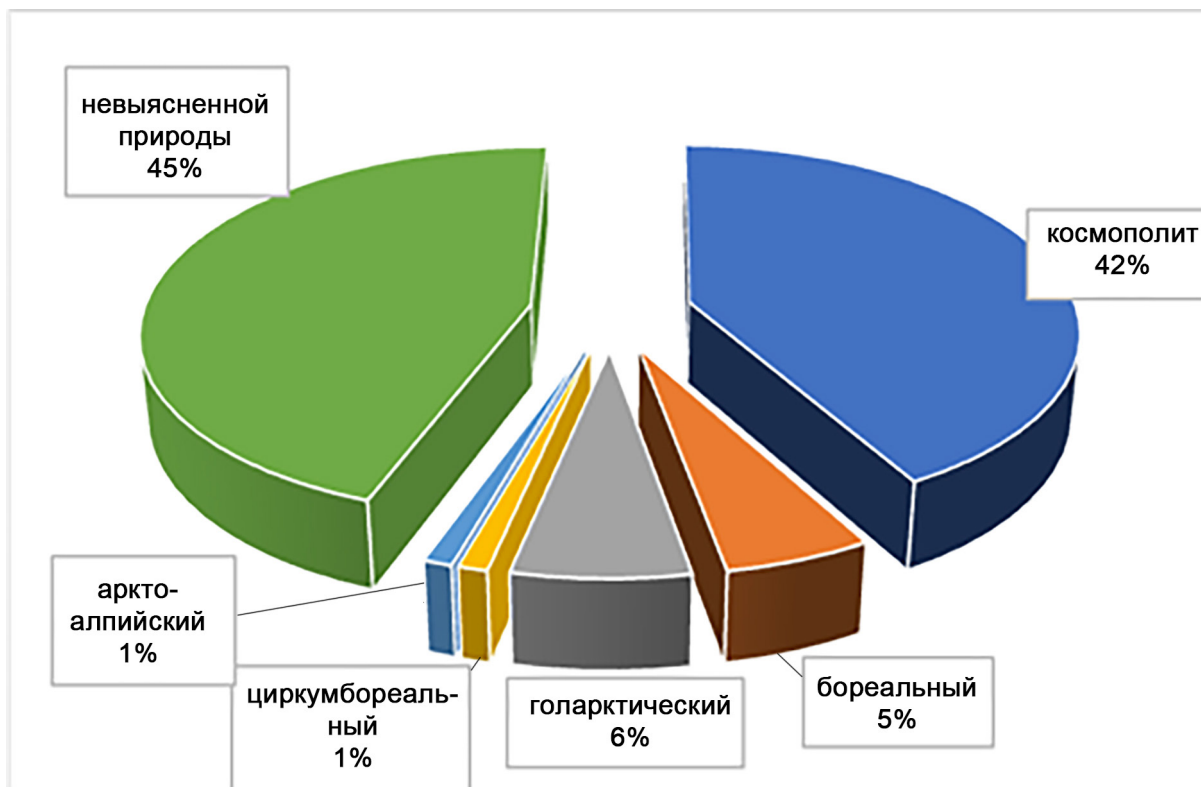


Рис. 4. Географические элементы в альгофлоре фитопланктона Кулундинского озера (количество таксонов).

Таблица 2

Эколого-географическая структура летнего фитопланктона Кулундинского озера (количество таксонов водорослей в типологических группах по отделах)

Экологическая группа	Отдел						Всего
	Cyanobacteria	Ochromytha	Cryptophyta	Euglenozoa (Euglenophyta)	Chlorophyta	Charophyta	
галобность							
олигоголобы	-	-	-	-	2	-	2
олигогалобы-индифференты	9	12	1	4	24	1	51
олигогалобы-галофилы	11	9	1	1	3	-	25
олигогалобы-галофобы	-	3	-	-	-	-	3
полигалооб	1	-	-	-	-	-	1
мезогалобы	-	-	-	2	-	-	2
отношение к рН							
индифферент	3	6	-	2	7	-	18
алкалофил	1	13	-	-	-	-	14
ацидофил	-	1	-	1	-	-	2
скорость течения							
стоячий	6	2	-	4	6	-	18
стояче-текучий	6	4	3	1	21	-	35
текучий	1	-	-	-	-	-	1
аэрофил	-	1	-	-	-	-	1

Продолжение табл. 2

Экологическая группа	Отдел						Всего
	Cyanobacteria	Ochrophyta	Cryptophyta	Euglenozoa (Euglenophyta)	Chlorophyta	Charophyta	
местообитание							
планктонный	13	6	2	2	26	1	50
планктонно-бентосный	15	2	-	3	10	-	30
бентосный (связанный с субстратом)	3	16	-	1	3	-	23
почвенный	5	-	-	-	-	-	5
эпифит	2	2	-	1	2	-	7
температура							
индифферентные	-	6	-	-	-	-	6
теплолюбивые	1	2	-	1	-	-	4
холодолюбивые	-	1	-	-	-	-	1
эвритермные	-	-	-	2	-	-	2

Значимым фактором для развития водорослей является температура воды. По отношению к температурному фактору из 15 видов с известной характеристикой всего 6 таксонов (46,1 %) определяются как индифферентные, 4 вида как теплолюбивые (30,8 %), на долю эвритермных и холодолюбивых приходится по 2 (15,4 %) и 1 (7,7 %) таксону соответственно.

По данным различных авторов (Williams, 2002; Яценко-Степанова и др., 2014; Ташлыкова, 2017), содержание солей в воде относится к числу лимитирующих факторов, которые определяют условия для вегетации водорослей. По имеющимся в настоящее время сведениям, по величине солёности воды Кулундинское озеро относится к гипергалинным или ультрагалинным, рассолам и крепким рассолам (Алекин, 1970; Оксийок и др., 1993). Также озеро относится к рапным. В настоящее время в озере после периода опреснения отмечается увеличение общей солёности воды. Класс воды в озере – хлоридный, группа воды – натриевая. Выявлен широкий спектр индикаторов галобности, отмечены водоросли, характерные как для пресноводных, так и мезогалобных экосистем. В состав олигогалобов (96,4 % от общего состава) входили, собственно, олигогалобы (2,3 %); олигогалобы-галофобы (3,6 %) предпочитающие воду с солёностью до 0,1 ‰, самую большую группу представляли олигогалобы-индифференты (60,7 %), предпочитающие воды с минерализацией 0,2–0,3 ‰ и олигогалобы-галофилы (29,7 %), предпочитающие воду с минерализацией 0,4–0,5 ‰. *Lepocinclis oxyuris* (Schmarda) B. Marin et Melkonian и *Eutreptia viridis* Perty из эвгленовых представляли мезогалобов, предпочитающих солоноватые воды. Полигалобы представлены одним видом из цианобактерий *Lyngbya aestuarii* (Mert.) Liebm. Из галофилов в планктоне озера отмечался такой вид, как *Cryptomonas ovata* Skuja, из галофобов – золотистая водоросль *Chrysococcus rufescens* Klebs. Эти же виды отмечает Н. А. Ташлыкова (2017) для Торейских озёр. Стоит отметить присутствие в солёном водоеме галофобов, которые могут встречаться в основном в местах впадения пресных водотоков.

Существенное значение имеет анализ распределения водорослей по отношению к активной реакции среды, или pH. По результатам гидрохимических исследований вода в озере щелочная. По отношению к величине pH среди таксонов выделяется группа индифферентов (52,9 %) – *Phormidium ambiguum* Gomont, *Dinobryon divergens* O. E. Imhof, *Coelastrum microporum*, алкафилов 14 (41,1 %) – *Gloeocapsa turgida*, *Tryblionella hantzschiana* Grunow, ацидофилов (6 %) – *Amphora ovalis* (Kütz.) Kütz. из диатомовых и *Astasia gracilis* Z. I. Vetrova из отдела Euglenophyta.

Водные объекты испытывают все возрастающее антропогенное воздействие в результате загрязнения. Способность водоема освобождаться от загрязнения зависит от совокупности биологических и физико-химических процессов, от наличия тех или иных групп водорослей, роль которых различна в этих процессах. Для солёных озёр юга Обь-Иртышского междуречья определение экологи-

ческого состояния осложняется. В мировой литературе практически отсутствуют специальные работы по методам биоиндикации, разработанным для водоемов данного типа. В практике гидробиологических исследований озер этого региона уже использовали стандартные методы биоиндикации, разработанные для пресных вод. Между тем закономерности изменения видового состава гидробионтов (в том числе индикаторных таксонов) в солоноватых и соленых озерах определяются прежде всего уровнем минерализации. При превышении критического уровня солености происходит кардинальное изменение структуры водных сообществ. После пересечения этих границ методики, основанные на выявлении индикаторных видов (сапробности, таксобности, кислотности), теряют свою индикаторную значимость. Использование биомассы и продуктивности сообществ для индикации эвтрофирования соленых водоемов также затруднительно, так как при возрастании минерализации эти показатели, как правило, падают. Для биоиндикации экологического состояния солоноватых и особенно соленых водоемов юга Обь-Иртышского междуречья необходимо создание новой системы, учитывающей действие фактора минерализации воды (Безматерных, 2007).

Кулундинское озеро является самым крупным водоемом Кулундинской равнины и относится к группе водных объектов и их водосборных бассейнов со средним уровнем антропогенной нагрузки (Безматерных, 2007; Рыбкина и др., 2011), водосборы которых открытые, чаще распаханые или заняты пастбищными угодьями. По данным Западно-Сибирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Ежегодник ..., 2020), вода р. Кулунда в 2018 г. по-прежнему оценивалась 4-м классом разряда «а» («грязная» вода). Характерные загрязняющие вещества – органические вещества (по ХПК и по БПК<sub>5</sub>), аммонийный азот, соединения железа, нефтепродукты, фенолы – превышали ПДК на 60–100 %. Критическими показателями загрязненности воды являлись органические вещества (по ХПК), максимальные концентрации которых достигали 7 ПДК, что свидетельствует о высокой комплексности загрязнения вод реки и водосборного бассейна. На водоеме осуществляется хозяйственная деятельность, происходит добыча артемии (на стадии цист). По правилам рыболовства Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна добыча осуществляется с поверхности воды или с прилегающей прибрежной полосы путем сгребания выбросов.

При вовлечении водоема в рыбохозяйственную деятельность возникает необходимость организации фоновый мониторинга, задачами которого является контроль и оценка воздействия на водную среду и ответной реакции гидробионтов на изменение среды обитания (Биоиндикация ..., 1994). Одним из компонентов системы наблюдений является биологический мониторинг, позволяющий по составу сообществ водных организмов адекватно оценить состояние водоема и определить возможную трансформацию водного объекта (Унифицированные методы..., 1983). Один из главных объектов при биоиндикационной оценке водоемов – это сообщество водорослей-автотрофов, которые находятся в основании трофической пирамиды и первыми принимают на себя воздействия, оказываемые на водную среду (Баринова и др., 2006).

Из общего количества водорослей фитопланктона Кулундинского озера для 82 таксонов или 42,7 % известны значения индивидуального индекса сапробности. Их распределение относительно зон сапробности приведено в таблице 3. Присутствуют представители всех зон сапробности с преобладанием β-мезосапробов.

Таблица 3

Распределение индикаторных таксонов фитопланктона по систематическим отделам и зонам сапробности

Отдел	χ	о-χ	о	о-β	β-о	о-α	β	β-α	α-β	α	р	р-α	β-р
Cyanobacteria	-	-	3	3	1	3	10	2	1	4	-	-	1
Ochrophyta	2	1	2	3	3	-	2	-	-	-	-	-	-
Cryptophyta	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	-	-
Euglenozoa (Euglenophyta)	-	-	-	1	-	-	1	1	1	-	-	-	-
Chlorophyta	-	-	1	5	3	1	18		2	1	1	1	1
Всего	2	1	6	12	8	4	31	3	4	7	1	1	2

Примеч.: (χ) – ксеносапробы; (о-χ) – олиго-ксеносапробы; (о) – олигосапробы; (о-β) – олиго-β-мезосапробы; (β-о) – β-олиго-сапробы; (о-α) – олиго-α-мезосапробы; (β) – β-мезосапробы; (β-α) – β-альфа-мезосапробы; (α-β) – α-β-мезосапробы; (α) – α-мезосапробы; (р) – полисапробы; (р-α) – р-альфа-сапробы; (β-р) – β-полисапробы.



Среди водорослей-индикаторов сапробности максимальным разнообразием отличаются зеленые (41,5 % от общего количества водорослей-индикаторов) и цианобактерии (34,1 %). На отдел охрофитовые приходится 15,8 % (в основном представители диатомовых). Эвгленовые и криптофитовые представлены 4,9 % и 3,7 %, соответственно. Из общего числа индикаторных видов 37,8 % составляют  $\beta$ -мезосапробные формы, 14,6 %  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробы,  $\beta$ - $\alpha$ -сапробы составили 9,7 %. Это таксоны с высокой степенью толерантности к содержанию органических веществ и могут успешно вегетировать как в чистых, так и загрязненных органикой водах. Преобладание в составе фитопланктона индикаторов загрязненных и грязных зон указывает на высокую степень загрязнения воды, а значительное количество высокотолерантных к органическому загрязнению видов – на высокий потенциал самоочищающей способности водоема. Соотношение индикаторов сапробности из разных отделов соответствует общей таксономической структуре фитопланктона водоема (Баженова, Игошкина, 2014). Индикаторную значимость может иметь вся совокупность сапробионтов и соотношение отдельных групп. Так,  $\beta$ -мезосапробы в целом характерны для равнинных водоемов умеренной зоны и практически в любом водоеме это самая крупная группа (Митрофанова, 2000). Обитатели чистых вод – ксено-, олигосапробионты и обитатели переходной между ними ( $\alpha$ - $\chi$ ) зоны – выявлены в количестве 9 таксонов и формируют 11% от общего числа найденных видов-индикаторов сапробности.

Качество воды характеризуется совокупностью общих и специфических показателей, а именно, трофо-сапробностью, соленостью, жесткостью, водородным показателем и наличием твердых веществ (ГОСТ 17.1.2.04-77). При определении трофо-сапробности учитывают несколько показателей, согласно которым вода Кулундинского озера относится к классу «альфамезосапробная» или «загрязненные воды», по унифицированной экологической классификации поверхностных вод суши (Оксиюк, Жукинский, 1993) к разряду  $\beta$ -мезосапробная, что соответствует классу мезотрофии. По классификации качества воды водоемов и водотоков (ГОСТ 17.1.3.07-82), основанной на величинах индекса сапробности по Пантле и Букку (Pantle, 1955) (в модификации В. Сладечека (1967)), вода озера по степени загрязненности относится к классу умеренно загрязненных (1,66).

Достаточно большой объем воды, перемешивание слоев, умеренные температуры обеспечивают седиментацию нерастворенных взвешенных веществ. Проведенный анализ показал, что фитопланктон по своему качественному составу и количественному развитию варьирует в соответствии с градиентом минерализации. Основу видового разнообразия фитопланктона определяют зеленые, цианобактерии, диатомовые, составляющие большинство флористического списка. Среди эколого-географических элементов в альгофлоре фитопланктона преобладают виды, индифферентные по отношению к солености и активной реакции среды. Особенности климатических и географических условий среды исследуемого региона способствуют развитию в планктоне водорослей, преимущественно, планктонного типа местообитания и планктонно-бентосного. Это характерно как для лентических, так и лотических водных экосистем (Ташлыкова, 2017). Оценка качества воды Кулундинского озера, проведенная с выделением биоиндикаторных организмов, показала  $\beta$ -мезосапробный тип воды, что позволяет отнести ее к воде со слабым органическим загрязнением. Если список индикаторов сапробности разделить на три группы, используя  $\beta$ -мезосапробов, как центральную, то совокупность  $\beta$ -альфа-мезосапробов и альфа-мезосапробов будет служить показателем повышенного органического загрязнения. В фитопланктоне Кулундинского озера наблюдается доминирование видов-индикаторов слабозагрязненных вод. Таким образом, полученные данные отражают многолетнее состояние Кулундинского озера и могут служить базой для сравнительной оценки изменений, происходящих в экосистеме водоема под влиянием климатических и антропогенных факторов окружающей среды. А сезонная, годовая и пространственная изменчивость таксономического состава альгофлоры в целом и фитопланктона в том числе в условиях значительного градиента минерализации требует проведения дальнейших исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А.* Основы гидрохимии – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 437 с.
- Баженова О. П., Игошкина И. Ю.* Оценка экологического состояния водоема природного парка Птичьа гавань (г. Омск) по показателям развития фитопланктона // Омский научный вестник, 2014. – № 1(128). – С. 136–139.
- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
- Безматерных Д. М.* Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналитический обзор // Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН, 2007. – 87 с.

*Биоидикация: теория, методы, приложения* / под ред. Г. С. Розенберга. – Тольятти: Изд-во «Интер-Волга», 1994. – 266 с.  
**Васильев О. Ф., Казанцев И. А., Попов П. А., Кириллов В. В.** Общая природная характеристика и экологические проблемы Чановской и Кулундинской озерных систем и их бассейнов // Сибирский экологический журнал, 2005. – № 2. – С. 167–173.

**Ведухина В. Г.** Анализ водно-экологической обстановки территории с использованием геоинформационно-картографического метода (на примере Алтайского края): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. – Барнаул, 2007. – 23 с.

**Винокуров Ю. И., Цимбалей Ю. М.** Региональная ландшафтная структура Сибири. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2006. – 96 с.

*Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования.* – Новосибирск: Наука; Сиб. предприятие РАН, 1999. – 285 с.

**Горбулин О. С.** Эколого-биологические характеристики Cyanophyta (Cyanoprokaryota) континентальных водоемов Украины // Альгология, 2014. – Т. 24, № 2. – С. 163–181.

ГОСТ 17.1.2.04-77. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 17 с.

ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 12 с.

**Григорьев С. В.** О некоторых определениях и показателях в озероведении // Труды Карельского филиала АН СССР, 1958. – Вып. XVIII: Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии. – С. 29–45.

**Егоров А. Н.** Энергетическая система соленых озер с «парниковым эффектом» // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD – 2015: сб. науч. ст. по материалам науч. конф. (г. Москва). Т. 1. – М.: ИПУ РАН, 2015. – С. 311–317.

*Ежегодник качества поверхностных вод Российской Федерации за 2019.* – Ростов-на-Дону, 2020. – 578 с.

**Измайлова А. В., Корнеева Н. Ю.** Озерность территории Российской Федерации и определяющие ее факторы // Вод. ресурсы, 2020. – Т. 47, № 1. – С. 16–25.

**Киселев И. А.** Планктон морей и континентальных водоемов. Т. I. Вводные и общие вопросы планктологии. – Л.: Наука, Ленингр. отд., 1969. – 658 с.

**Макеева Е. Г., Осипова Н. В.** Водоросли соленого оз. Алтайское (Республика Хакасия): таксономический состав и экологические особенности // Биология внутренних вод, 2022. – № 2. – С. 118–126.

**Оксиюк О. П., Жукинский В. Н.** Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн., 1993. – Т. 29, вып. 4. – С. 62–76.

*Ресурсы поверхностных вод СССР.* Т. 15. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 318 с.

**Рыбкина И. Д., Стоящева Н. В., Курепина Н. Ю.** Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Водное хозяйство России, 2011. – № 4. – С. 42–52.

**Сладечек В.** Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология: материалы I съезда Всесоюзного гидробиологического общества. – М.: Наука, 1967 – С. 26–31.

**Тальских В. Н., Шардакова Л. Ю.** Разработка индикаторов экологически допустимого состояния для озерных экосистем бассейна Аральского моря в условиях антропогенного воздействия и изменения климата // Гидрометеорология и экология, 2019. – № 2. – С. 158–169.

**Ташлыкова Н. А.** Таксономический состав и эколого-географическая характеристика летнего фитопланктона Торейских озер // Ученые записки ЗабГУ, 2017. – Т. 12, № 1. – С. 52–59.

**Трифонов И. С.** Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.

*Унифицированные методы исследования качества вод.* Ч. 3. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. – М.: СЭВ, 1977. – 227 с.

**Цимбалей Ю. М., Андреева И. В.** Учет ландшафтной структуры водосборов при оценке водного баланса водоприемников (на примере бессточной области Обь-Иртышского междуречья) // Известия АО РГО, 2015. – № 1(36). – С. 23–30.

**Шигапов И. С., Мингазова Н. М., Мусин А. Г.** Особенности морфологии котловин озер г. Казани // Вестник ТГГПУ, 2011. – № 2(24). – С. 66–71.

**Яценко-Степанова Т. Н., Немцева Н. В., Игнатенко М. Е.** Основные подходы к определению трофности природных водоемов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал), 2014. – № 1. – С. 1–7.

**Guiry M. D., Guiry G. M.** AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2021. URL: <https://www.algaebase.org> (Accessed 06 May 2023).

**Pantle R.** Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse / R. Pantle, H. Buck // Gas- und Wasserfach, 1955 – Bd. 96(18). – S. 604–618.

**Shadrin N., Anufrieva E., Gajardo G.** Ecosystems of Inland Saline Waters in the World of Change // Water, 2023. – № 15(52). – P. 2–12.

**Williams W. D.** Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025 // Environmental Conservation, 2002. – № 29(2). – P. 154–167.