

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАО «КОСТАНАЙСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АХМЕТА БАЙТУРСЫНОВА»

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ УМИРЗАКА СУЛТАНГАЗИНА

АЗИЯ ДАЛАЛАРЫНДАҒЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ ӘРТҮРЛІК

*IV халықаралық ғылыми конференцияның материалдары
(Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., 2022 жылдың 14 сәуірі)*



БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ АЗИАТСКИХ СТЕПЕЙ

*Материалы IV международной научной конференции
(14 апреля 2022 г., Костанай, Казахстан)*

BIOLOGICAL DIVERSITY OF ASIAN STEPPES

*Proceedings of the IV International Scientific Conference
(April 14, 2022, Kostanay, Kazakhstan)*

Костанай 2022

УДК 502/504

ББК 20.18

А 30

коллективный труд

А 30 Азия далаларындағы биологиялық әртүрлілік IV халықар. ғыл. конф. Материалдары (Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., 2022 жылдың 14 сәуірі) / ғылыми редакторлары Т.М. Брагина, Е.М. Исакаев. – Қостанай: А. Байтұрсынов атындағы ҚОУ, 2022. – 482 с.

Биологическое разнообразие азиатских степей: Материалы IV междунар.научн. конф. (14 апреля 2022 г., г. Костанай, Казахстан) / под научн. редакцией Т.М. Брагиной, Е.М. Исакаева. – Костанай: КПУ им.А.Байтұрсынова, 2022. – 482 с.

Biological Diversity of Asian Steppe. Proceedings of the III International Scientific Conference (April 14, 2022, Kostanay, Kazakhstan) /science editors Т.М. Bragina, Ye. M. Isakaev. – Kostanay: A. Baitursynov KRU, 2022. – 482 pp.

ISBN 978-601-356-141-7

**РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Жауапты редакторлары:

Брагина Т.М., биология ғылымдарының докторы, профессор

Исакаев Е.М., биология ғылымдарының кандидаты, доцент

Исмуратова Г.С., экономика ғылымдарының докторы, профессор

Ахметов Т.А. педагогика ғылымдарының кандидаты, профессор

Редакция алқасының мүшелері

Баубекова Г.К., педагогикалық білім магистрі; *Рулёва М.М.*, биология магистрі; *Суюндикова Ж.Т.*, биология магистрі; *Бобренко М.А.* биология магистрі; *Коваль В.В.* география магистрі; *Омарова К.И.* география магистрі.

В сборнике опубликованы материалы IV Международной научной конференции «Биологическое разнообразие азиатских степей». В докладах рассмотрены итоги исследований и перспективы сохранения биологического разнообразия степных экосистем, островных и ленточных лесов и водно-болотных угодий степной зоны Евразии, охраны природных территорий и популяций видов особого природоохранного значения, формирования экологической сети и вклада вузов в изучение биоразнообразия, вопросы интеграции естественных наук и образования. Книга предназначена для ученых и практиков, работающих в области изучения и сохранения биологического разнообразия, преподавателей вузов, аспирантов, студентов, работников природоохранных учреждений.

УДК 502/504

ББК 20.18

*Рекомендовано к изданию Ученым советом
Костанайского регионального университета им.А.Байтұрсынова*

*За достоверность предоставленных в сборнике сведений и использованной
научной терминологии ответственность несут авторы статей*



© Костанайский региональный университет
им.А.Байтұрсынова, 2022

© Научно-исследовательский центр проблем
экологии и биологии, 2022

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВОДОРΟΣЛЕЙ ИНДИКАТОРОВ
ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР ШУЧИНСКО-
БОРОВСКОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЫ (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)**

*New Approaches to the Use of Algae Indicators of Organic Pollution on the Example of the
Lakes of the Shchuchinsko-Borovsk Resort Zone (Northern Kazakhstan)*

**С.С. Баринаова¹, Е.Г. Крупа²
S. S. Barinova¹, E.G. Krupa²**

¹*Институт Эволюции, Университет Хайфы, г. Хайфа, Израиль,*
²*РГП на ПХВ «Институт зоологии» МОН РК, г. Алматы, Казахстан*
e-mail: sophia@haifa.ac.il, elena_krupa@mail.ru

Аннотация. Солтүстік Қазақстан көлдерінің табиғи кешендеріне органикалық ластанудың әсерін талдаудың жаңа тәсілдерін әзірлеу кезек күттірмейтін мәселе ғана емес, сонымен қатар ерекше қорғалатын табиғи объектілердің мониторинг деректерін визуализациялау бойынша ұсыныстарды тұжырымдауға мүмкіндік береді. 2019 жылдың жазында бірегей табиғи-рекреациялық Щучье-Боровский көлдер кешенінің 6 көліндегі фитопланктонды далалық бақылау нәтижелері бойынша әрбір көлдің экожүйесіне органикалық ластанудың әсерін, оның қарқындылығын, сондай-ақ уытты әлеуетін анықтауға мүмкіндік туды. Әрбір көл үшін де, бүкіл табиғи ландшафт кешені үшін де статистикалық карта жасаудың жаңа әдістері ғылыми нәтижелерді визуализациялау және оларды шешім қабылдау жүйесінде пайдалану үшін қарапайым және пайдалы болып шықты.

Түйінді сөздер: балдырлар, көрсеткіштері, органикалық ластануы, көлдер, Қазақстан.

Аннотация. Разработка новых подходов в анализе влияния органического загрязнения на природные комплексы озер Северного Казахстана является не только актуальной задачей, но и позволяет сформировать предложения для визуализации данных мониторинга на уникальных охраняемых природных объектах. По результатам натурных наблюдений за фитопланктоном на 6 озерах уникального-природно-оздоровительного Щучинско-Боровского комплекса озер летом 2019 года удалось установить влияние органического загрязнения на экосистему каждого озера, его интенсивность, а также токсический потенциал. Новые методы статистического картографирования как для каждого озера, так и для всего природно-ландшафтного комплекса оказались простыми и полезными для визуализации научных результатов и использования в системе принятия решений.

Ключевые слова: водоросли, индикаторы, органическое загрязнение, озера, Казахстан.

Abstract. The development of new approaches to the analysis of the impact of organic pollution on the natural complexes of the lakes of Northern Kazakhstan is not only an urgent task, but also makes it possible to formulate proposals for visualizing monitoring data on unique protected natural objects. Based on the results of field observations of phytoplankton on 6 lakes of the unique natural and health-improving Shchuchinsko-Borovsky complex of lakes in the summer of 2019, it was possible to establish the impact of organic pollution on the ecosystem of each lake, its intensity, as well as its toxic potential. New methods of statistical mapping both for each lake and for the entire natural landscape complex turned out to be simple and useful for visualizing scientific results and using them in the decision-making system.

Keywords: algae, indicators, organic pollution, lakes, Kazakhstan.

Территория Северного Казахстана изобилует малыми озерами. Она относится к лесостепной климатической зоне и подвержена влиянию как резко континентальных климатических условий, так и аридизации, усиливающейся по мере уничтожения лесных угодий. Озера в этой части Евразии являются важными объектами охраны природы, поскольку служат заказниками охраны перелетных птиц. Кроме того, озера используются

населением городов и поселков в рекреационных целях. Уникальность каждого из озер в силу широкого градиента солености, подчеркивается в ряде исследований. В частности, градиент солености озер Северного Казахстана имеет широкую амплитуду от ультрапресных до сильно минерализованных. Использование озер соответствует их полезности для населения, и на наиболее доступных из них организуются рекреационные зоны и бальнеологические комплексы. Населенные пункты также концентрируются вблизи к озерам. Таким образом, органическое загрязнение и его влияние на экосистемы этих уникальных природных объектов является важным объектом мониторинга и управления хозяйством.

Целью настоящей работы была разработка комплексных аналитических подходов для анализа состояния природных комплексов озер в условиях Северного Казахстана и оценки органического загрязнения.

Водоросли и макрофиты фиксируют солнечную энергию в химических связях синтезируемого органического вещества и тем самым определяют первичную продуктивность водных экосистем – трофность, или кормность. При доступности солнечной энергии, лимитирующими факторами их роста является количество питательных веществ. Прямая связь между концентрациями биогенных элементов и продуктивностью водных экосистем является основой их типизации по трофности. Под трофностью понимается количество органического вещества, выраженное через биомассу живых организмов. Процессы синтеза органического вещества (трофность) неразрывно связаны с его распадом, интенсивность которого оценивается по шкале сапробности.

В целях оценки трофического состояния и органического загрязнения индикационными методами необходимо учитывать сложный характер изменчивости сообществ озер в градиенте внешних факторов. Снижение размерных показателей является универсальной реакцией биологических сообществ на обогащение водных экосистем органическими веществами и биогенными элементами. Нелинейный характер изменчивости численности и биомассы фито- и зоопланктона при возрастании биогенной нагрузки на пресные озёра и водохранилища Казахстана, делает оценку состояния экосистем непростой задачей (Крупа и др., 2021). Тем более, что соотношения изменений в фито- и зоопланктоне озер также имеют сложный баланс при различных нагрузках органического загрязнения. Таким образом, перед нами стояла задача подобрать методы оценки, позволяющие наиболее просто оценить влияние органического и токсического загрязнения на озера, как таковые и на комплекс озер и их водосборного бассейна. Для этого мы взяли как пример комплекс озер Щучинско-Боровской курортной зоны, так как 1) это уникальный природный объект; 2) комплекс состоит из 6 озер, равно подверженных климатическим влияниям, но имеющих градиент органического загрязнения; 3) комплекс озер имеет ландшафтные границы, обособляющие его как от населенных пунктов, так и от других водных объектов территории (Рисунок 1).

Натурные наблюдения проводились комплексно по фито-, зоопланктону и гидрохимическим показателям в течение летнего периода 2019 г., когда в данных климатических условиях вегетация в озерах максимальна при максимальной освещенности и температуре. Всего было отобрано более 100 проб фитопланктона на 8-14 станциях по поверхности каждого озера.



Рисунок 1 – Расположение основных источников загрязнения озёр Щучинско-Боровской курортной зоны по оценочным данным лета 2019 г. Пунктирной линией обозначен район интегрального статистического картографирования

Для оценки уровня органического загрязнения по набору и количественным показателям индикаторных видов гидробионтов был рассчитан индекс сапробности (Sládeček, 1973) по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n (s_i \times a_i) / \sum_{i=1}^n (a_i) \quad (1),$$

где S – индекс сапробности сообщества; s_i – видоспецифический индекс i -того вида; a_i – его относительная численность; n – общая численность видов-индикаторов сапробности в пробе.

Для оценки самоочищающей способности озёр был рассчитан интегральный индекс состояния водной экосистемы (WESI) (Барина и др., 2006; Barinova, 2011) на основе рангов качества воды, рассчитанных по сапробным индексам (по Сладечеку), и концентрации нитратов по формуле:

$$WESI = \text{Rank } S / \text{Rank } N\text{-NO}_3 \quad (2),$$

где WESI – индекс состояния водной экосистемы; Rank S – ранг качества воды для точки отбора проб, рассчитанный по значению индекса сапробности Сладечека; Rank $N\text{-NO}_3$ – ранг качества воды, рассчитанный по концентрации нитратного азота.

Список видов водорослей с их экологическими предпочтениями и их распределение по озёрам был базой для применения статистических методов анализа. Использовались программы Statistica 12.0 для картографирования распределений таксономических групп, экологических индикаторов и гидрохимических данных, а также программа Jasp для установления корреляций в выявленных сообществах.

Во всех шести озёрах наиболее полно были представлены индикаторы субстрата, кислородных условий, трофности, солёности, pH воды, при меньшем числе видов водорослей, для которых установлены тип питания, температурные предпочтения и

сапробность по Ватанабе. Неравноценный набор данных накладывает определённые ограничения по биологической индикации условий среды еще и в силу разного числа индикаторных видов из экологических групп в каждом из обследованных озёр. В процентном отношении, больше всего индикаторных видов водорослей из всех экологических групп было обнаружено в Боровом и Большом Чебачьем, меньше всего – в минерализованных озёрах Жукей и Малое Чебачье, при промежуточном положении озёр Щучье и Катарколь. Прослеживалась слабая положительная зависимость между суммарным видовым богатством и долей индикаторных видов водорослей ($R=0,38$) от общего числа зарегистрированных.

Видовое богатство водорослевых сообществ изменялось в 2,1 раза, с максимумом в Боровом и Большом Чебачьем. Основной вклад в суммарную величину показателя вносили виды отделов Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanobacteria.

Во всех озёрах больше половины видов водорослей являлись индикаторами загрязнённых вод, третьего класса качества, при второстепенном положении индикаторов умеренного загрязнения, второго класса качества. Повсеместно в небольшом количестве встречались также виды водорослей – индикаторы очень грязных вод, четвертого класса качества. Пространственное распределение индикаторных видов водорослей из различных экологических групп по акваториям обследованных озёр было проанализировано на основе построенных статистических карт, позволяющих ассоциировать величину картируемого показателя с расположением на территории водосюора источниками органического загрязнения. Индикаторы присутствия в воде сероводорода входили в состав фитопланктонных сообществ северо-западных частей озёр Боровое и Щучье. В Жукее виды этой экологической группы встречались в северной и южной частях акватории, находящиеся под влиянием поселков Жукей, Карловка и Акылбай. Наибольшее число видов водорослей – индикаторов слабого насыщения воды кислородом входило в состав фитопланктонных сообществ озёр Боровое, Катарколь, частично Большое Чебачье. На отдельных участках акваторий озёр Боровое, Жукей и Щучье встречались водоросли, выносящие бескислородные условия. Гетеротрофные виды, выдерживающие периодически повышенные концентрации связанного азота, наиболее полно были представлены в водорослевых сообществах озёр Боровое, Катарколь и Большое Чебачье (локально). Здесь же, а также в Жукее, присутствовали сапрофилы – индикаторы загрязнённых вод по диатомовым водорослям, олиго-мезотрафенты, предпочитающие чистые воды, и мезотрафенты, предпочитающие слабо загрязнённые воды; эутрафенты и олиго-эутрафенты были единичны. Наиболее высокие значения индекса сапробности, рассчитанного по доле индикаторных видов водорослей, были зарегистрированы в Катарколе и Боровом, локально – в Жукее и Большом Чебачьем.

Еще одним новым подходом было статистическое картографирование биологических и гидрохимических показателей озер для всего комплекса – района, ландшафтно и гидрологически отделенного от окружающих степей и представляющего монолитный природно-оздоровительный объект. Как видно на Рис. 1, была очерчена зона комплекса озер и прилегающего однородного ландшафта. Для этой зоны были построены карты распределения биологических и гидрохимических показателей впервые не только для Казахстана, но и как новый экспериментальный метод, давший яркие результаты.

Таким образом, применение анализа видового богатства, статистических методов и нового подхода в экологической картографии позволяет сделать следующие выводы.

Озёра Щучье, Жукей, Малое Чебачье характеризовались хорошей насыщенностью воды кислородом. Неблагоприятные кислородные условия складывались на отдельных участках озёр Боровое и Большое Чебачье и на значительной части акватории Катарколя.

Видовой состав фитопланктона свидетельствовал о возможном локальном присутствии сероводорода в озёрах Боровое, Щучье и Жукей.

Преобладание азотно-автотрофных видов водорослей в фитопланктонных сообществах всех озёр, кроме Щучьего, характеризовало повышенный уровень азотной нагрузки на их экосистемы. Миксотрофы – индикаторы высокой азотной нагрузки, а также сапрофилы – обитатели сильно загрязнённых органикой вод, в незначительном количестве присутствовали в фитопланктоне всех озёр, кроме Жукея.

Несмотря на высокую азотную нагрузку, органическое загрязнение обследованных озёр, оцениваемое по экологическим предпочтениям водорослей, не превышало \square -мезосапробного уровня. В пределах этой градации, наиболее загрязненным являлось оз. Катарколь, а наиболее чистыми – Щучье, Жукей и Малое Чебачье.

Относительно невысокий уровень органического загрязнения озёр, установленный по индикаторным видам планктонных водорослей, может быть связан с дефицитом фосфатов. Их низкое содержание в воде всех озёр оказывало лимитирующее влияние на водоросли, а также, возможно, приводило к недооценке общего уровня органического загрязнения их экосистем, связанного преимущественно с азотной нагрузкой.

Согласно значениям индекса WESI, некоторое угнетение фотосинтетической активности растительных клеток наблюдалось на значительной части акватории оз. Катарколь, локально – в Большом Чебачьем и Жукее.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что уровень органического загрязнения наиболее эксплуатируемых озёр Боровое, Катарколь и Большое Чебачье (за счет загрязнения с речным стоком) близок к предельному. Озеро Щучье является наиболее глубоким среди других водоемов системы, что является одной из причин более высокого качества его воды. Однако, с учетом выявленных тенденций и цикличности природных факторов (температурный, гидрологический режим) ухудшение его экологического состояния может произойти резко и за короткий срок. Сказанное свидетельствует о том, что необходимо принимать срочные меры по снижению биогенной нагрузки на экосистемы всех озёр. Особое внимание следует уделить контролю за работой очистных сооружений курортных объектов, расположенных непосредственно в прибрежной зоне озёр. Сброс даже очищенных коммунально-бытовых сточных вод в озёра недопустим!

Список литературы:

1. Крупа Е.Г., Барина С.С., Романова С.М., Хитрова Е.А. Гидрохимическая и гидробиологическая характеристика озёр Щучинско-Боровской курортной зоны (Северный Казахстан) и основные методологические подходы к оценке экологического состояния малых водоемов. – Алматы: ТОО «Etalon Print», 2021. – 330 с.