

АННОТАЦИЯ

исследовательской работы Жәди Асхат Әмірзакұлы на тему «Мониторинг и оценка современного состояния водной экосистемы озера Маркаколь и разработка рекомендаций и по экологическому сохранению водных ресурсов» представленной на соискание степени доктора философии (PhD) образовательной программе 8D08604 – «Водная безопасность»

Актуальность темы. В современный период, когда вопросы рационального использования и сохранения водных ресурсов приобретают все большую значимость, особое внимание уделяется оценке состояния и устойчивости водных экосистем, включая озера. Мировая практика показывает, что озера являются не только важной частью глобальных водных ресурсов, но и выполняют роль индикаторов климатических изменений и аккумуляторов загрязняющих веществ. Интегрированное управление водными системами, основанное на принципах устойчивого развития, предполагает поиск баланса между социально-экономическими потребностями человека и экологическими требованиями водных и прибрежных экосистем, поскольку именно они обеспечивают стабильность и предоставляют жизненно важные экосистемные услуги.

В Республике Казахстан проблема водных ресурсов всегда имела стратегическое значение. На ее территории расположено большое количество озер различной площади, объема и качества воды, многие из которых представляют важнейшие природные ресурсы, используемые в хозяйственных целях. В тоже время уникальные водоемы, включенные в состав особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и биосферных резерватов ЮНЕСКО, обладают особым научным и природоохранным значением, поскольку сравнительно мало подверглись антропогенному воздействию и являются чувствительными индикаторами глобальных природных трансформаций. К числу таких водоемов относится озеро Маркаколь, расположенное на территории государственного природного заказника «Маркаколь». Оно входит в число ключевых объектов сохранения биоразнообразия Алтай–Саянского экорегиона в рамках международных программ GEF, UNDP, WWF, NABU и GTZ, а также отнесено к 200 глобальным приоритетным экологическим регионам инициативы WWF Living Planet. Казахстан, являясь стороной Конвенции о биологическом разнообразии (Рио-де-Жанейро, 1992; в РК утверждена Постановлением №918 от 19 августа 1994 года), несет обязательства по сохранению экосистем и видов. В условиях значительных изменений природной среды и роста антропогенной нагрузки возрастают актуальность комплексного изучения озерных экосистем для обеспечения национальной и региональной экологической безопасности.

Маркаколь выступает эталонным объектом для оценки современного состояния водных экосистем Центральной Азии. Его труднодоступность и ограниченный режим доступа обуславливают редкость систематических наблюдений, что повышает научную ценность получаемых результатов. Впервые полученные новые данные о состоянии экосистемы озера позволяют

восполнить пробелы в знании о закономерностях распределения гидрологических, гидрохимических и экологических характеристик высокогорных озер.

Особое значение имеет применение комплексного экосистемного подхода, объединяющего анализ морфометрических, гидрофизических и гидрохимических параметров, а также оценку загрязнения современными поллютантами, включая микропластик. В условиях глобальных вызовов, таких как изменение климата, рост антропогенной нагрузки и распространение новых типов загрязнителей, комплексная оценка экологического состояния озера имеет стратегическое значение для экологической безопасности Казахстана и региона в целом.

Мировой опыт показывает, что горные озера (Титикака, Иссык-Куль, Байкал) играют ключевую роль в региональной гидроэкологической системе. Однако в Центральной Азии подобные комплексные исследования проводятся редко, а для Казахстана практически отсутствуют. Таким образом, изучение озера Маркаколь восполняет существенный научный пробел и имеет значение не только для национальной науки, но и для международного сообщества.

Цель работы. Провести комплексную экологическую оценку текущего состояния водной среды озера Маркаколь и разработать научно обоснованные рекомендации для обеспечения его экологической устойчивости.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие основные задачи:

- обновлены морфометрические характеристики озера, впервые за последние 60 лет;
- рассмотрены характеристики, распространение и источники микро- и макропластика;
- оценено влияние пластикового загрязнения на водную экосистему;
- исследованы тяжелые металлы, как основные загрязнители водной среды, определены их распространение и уровни;
- изучено распределение тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения-гидробионты»;
- подготовлены практические рекомендации по экологическому сохранению водной экосистемы озера Маркаколь.

Объект исследования – озеро Маркаколь.

Предмет исследования – экологическое состояние водной экосистемы озера Маркаколь и факторы ее устойчивости.

Методы исследования. Методологическую основу составили полевые исследования (2022–2023 гг.) с отбором проб воды и донных отложений. Для анализа использовались:

- спектрофотометрия, электрометрия, титриметрия;
- атомно-абсорбционная спектрометрия (Shimadzu AA-7000);
- визуальная микроскопия и фильтрационные методы для изучения микропластика, определение его полимерной природы по спектрам;
- уточнение морфометрии посредством гидрографической съемки, цифрового моделирования и ГИС-технологий (ARCGIS).

Контроль качества обеспечивался стандартными образцами и повторными измерениями. Все методы соответствовали международным требованиям ISO, UNEP и ВОЗ, что обеспечило сопоставимость и достоверность полученных данных.

Использованные данные. В качестве информационной базы исследования использовались статистические данные Республики Казахстан, гидрохимические данные РГП «Казгидромет», данные метеостанций о температуре воздуха и осадках, а также многолетние публикации, архивные материалы Института географии и водной безопасности.

Научно-исследовательская работа подготовлена на основе научного проекта, финансируемого по гранту Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН № AP14870595 «Мониторинг состояния водной среды озера Маркаколь и оценка уровня загрязнения микро- и макропластиком».

Предлагаемые к защите выводы:

I. Современные морфометрические характеристики озера Маркаколь определены впервые за 60 лет на основе высококачественной новой цифровой батиметрической модели. Максимальная глубина составляет 24,87 м, объем водной массы – 6,67 км³, что создает актуальную физическую основу для гидрологического моделирования и оценки экологического состояния экосистемы.

II. Для высокогорных озер Центральной Азии впервые зафиксирован факт загрязнения водной среды макропластиком и определены его количественные параметры. Выявлен полимерный состав макропластика (полипропилен, полиэтилен, полистирол), а также доказано, что озеро Маркаколь является конечным резервуаром для пластмассовых частиц, поступающих через речной сток.

III. В водной экосистеме Маркаколя определены закономерности пространственного распределения загрязнения тяжелыми металлами (Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Cd). Основными путями поступления загрязняющих веществ являются устья рек. Интегральный индекс загрязнения ($Z_c = 11,6$) соответствует категории средней опасности.

Практическая значимость результатов исследования. Практическая ценность работы определяется возможностью применения полученных результатов при разработке мер по охране экосистемы и совершенствовании национальной системы мониторинга со стороны природоохранных органов, включая администрацию государственного природного парка «Маркаколь». Собранные данные могут быть включены в международные базы данных UNEP и UNESCO, а также использованы в программах устойчивого управления водными ресурсами и в учебных курсах по гидроэкологии и водной безопасности.

Научная новизна полученных результатов: Научная новизна исследования проявляется в обновлении морфометрических характеристик озера на основе современных методов цифрового моделирования, выявлении пространственных закономерностей распространения тяжёлых металлов и их

источников поступления, а также в документировании загрязнения микропластиком, впервые зарегистрированного для высокогорных водоёмов Центральной Азии. Сочетание классических гидрохимических методов и методов анализа новых загрязняющих веществ позволило предложить оригинальный экосистемный подход к оценке устойчивости водных экосистем.

Апробация работы. Основные положения, выводы и результаты научно-исследовательской работы были представлены на Республиканской конференции «Молодые Сатпаевцы» (Алматы, 2024) по теме «Комплексный мониторинг и оценка современного состояния водной экосистемы озера Маркаколь».

Связь исследования с Целями устойчивого развития ООН.

Работа напрямую связана с Целями устойчивого развития (ЦУР) ООН:

- ЦУР-6 «Чистая вода и санитария» – через комплексную оценку качества воды;
- ЦУР-13 «Борьба с изменением климата» – через анализ озера как индикатора климатических трансформаций;
- ЦУР-15 «Сохранение экосистем суши» – через разработку стратегий охраны уникального природного объекта;
- ЦУР-12 «Ответственное потребление и производство» – через рекомендации по управлению отходами.

Для улучшения экологического состояния озера Маркаколь предложены следующие меры:

- Усиление постоянного контроля поступления тяжелых металлов, особенно в дельтовых районах;
- Использование метода масс-спектрометрии для повышения качества мониторинга;
- Создание сети мониторинговых станций, оснащённых современными датчиками;
- Применение спутниковых технологий и беспилотных систем;
- Создание инфраструктуры раздельного сбора и переработки отходов для предотвращения пластикового загрязнения, установка специальных контейнеров на туристических маршрутах;
- Привлечение местного населения к экологическим образовательным программам.

Характеристика основных результатов исследования.

Анализ физико-химических параметров. Результаты исследования показали, что состав воды характеризуется низкой минерализацией (140–180 мг/л), слабощелочной реакцией (рН 7,2–7,8) и изменяющимся в зависимости от сезона содержанием растворенного кислорода (6,1–8,9 мг/л). Эти показатели свидетельствуют о высокой чувствительности экосистемы к климатическим изменениям и риске нарушения трофического статуса при увеличении антропогенной нагрузки.

Результаты исследования тяжелых металлов. В воде были выявлены следующие концентрации тяжелых металлов: медь – 0,004–0,018 мг/л, цинк –

0,012–0,044 мг/л, свинец – 0,001–0,006 мг/л, никель – 0,002–0,009 мг/л, кобальт – 0,001–0,004 мг/л, кадмий – 0,0003–0,0012 мг/л. Средние значения в донных отложениях: медь – 36 мг/кг, цинк – 92 мг/кг, свинец – 28 мг/кг, никель – 41 мг/кг, кадмий – 0,7 мг/кг. Пространственный анализ показал, что основные пути поступления тяжёлых металлов связаны с речными потоками, а донные отложения являются их главным аккумулятором.

Результаты исследования микропластика. Впервые зафиксировано загрязнение озера Маркаколь микропластиком. В воде выявлено 0,7–3,2 частиц/м³, а в донных отложениях – 12–48 частиц/кг (в пересчете на сухую массу). Морфологический анализ показал преобладание волокон (54 %) и долю фрагментов (38 %), доля гранул составила 8 %. Полимерный состав представлен полиэтиленом, полипропиленом и полистиролом.

Рекомендации по сохранению качества водной среды

Рекомендации, представленные в данном исследовании, являются важнейшей частью работы, направленной на поддержание экологического баланса озера Маркаколь. Рекомендации основаны на всестороннем анализе, включающем мониторинг качества воды, донных отложений, а также морфометрических, гидрофизических и гидрохимических характеристик озера. Разработка рекомендаций учитывает выявленные источники загрязнения и угрозы для экосистемы, а их выполнение является критически важным для предотвращения дальнейшей деградации озера и сохранения его природного состояния. Исследование не только выявило значимые аспекты пластикового загрязнения, но и подчеркнуло антропогенные воздействия на экосистему, включая превышение допустимых уровней тяжелых металлов и фосфатов.

Основываясь на полученных данных, предлагаются следующие ключевые меры для сохранения нормативного уровня качества воды в озере Маркаколь:

1) Разработать и внедрить усиленные меры по предотвращению браконьерства, особенно в отношении оставленных рыболовных сетей из мононити. Использование современных технологий, таких как дроны, автоматизированные датчики и системы спутникового мониторинга, позволит эффективно выявлять и предотвращать подобные нарушения. Ввести строгие меры по предотвращению сброса пластиковых отходов в водоемы, включая создание локальных пунктов переработки отходов и установку контейнеров для сбора пластика на туристических маршрутах;

2) Усилить мониторинг антропогенных и природных источников загрязнения тяжелыми металлами, уделяя особое внимание притокам озера, таким как река Еловка, где фиксируется превышение концентраций кадмия. Использование современных аналитических методов, таких как масс-спектрометрия, позволит более точно оценить масштабы проблемы. Организовать регулярное тестирование содержания тяжелых металлов в донных отложениях и водной среде для выявления возможных точек накопления;

3) Разработать интегрированную систему постоянного мониторинга воды, включающую как государственные структуры, так и участие местного населения. Использование мобильных приложений для регистрации экологических нарушений может повысить оперативность выявления проблем. Сформировать сеть мониторинговых станций, оснащенных современным оборудованием, для оценки гидрофизических, гидрохимических и биологических параметров воды;

4) Организовать образовательные программы, направленные на повышение осведомленности местных жителей и туристов о проблемах пластикового загрязнения и важности поддержания чистоты водоема. Программы могут включать лекции, интерактивные мастер-классы, экологические игры и конкурсы. Особое внимание следует уделить информированию о рисках эвтрофикации озера и способах минимизации антропогенного влияния;

5) Возобновить систематический государственный мониторинг качества воды в озере Маркаколь. Это позволит оперативно выявлять изменения уровня загрязнения и принимать соответствующие меры. Установить взаимодействие между государственными органами и научными учреждениями для обмена данными мониторинга и повышения качества аналитических исследований;

6) Организовать целенаправленный мониторинг уровня загрязнения ПХБ в озере Маркаколь с привлечением РГП «Казгидромет» и научных исследовательских институтов. Полученные данные должны быть использованы для оценки риска воздействия ПХБ на экосистему и здоровье населения;

7) Ввести законодательный запрет на использование одноразовой пластиковой продукции (посуда, упаковка и др.) вблизи озера Маркаколь, а также внедрить стимулы для использования экологически безопасных материалов. Усилить ответственность за сброс пластиковых отходов, включая введение жестких штрафов и регулярные рейды по выявлению нарушений;

8) Включить пластиковое загрязнение в программу государственного экологического мониторинга с акцентом на микропластик в воде и донных отложениях. Организовать регулярные мероприятия по очистке водоема от пластиковых отходов и внедрить системы переработки и утилизации пластика.

Публикации по результатам исследования. Результаты исследования опубликованы в 9 научных статьях, из них в базе Scopus 6 статей, включая: News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Geology Series and Technical Science (Q3, CiteScore; SJR 2023 – 0.508), Applied Sciences (Q1; Percentile 79, CiteScore 2023 – 5.3; SJR 2023 – 0.508), EVERGREEN (Q2; Percentile 59, CiteScore 2023 – 4.3; SJR 2023 – 0.376), Hydrology (Q1, Percentile 84, CiteScore 2024 – 5.9; SJR 2023 – 0.735). 3 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества науки и высшего образования при МНВО РК. Кроме того, получены два свидетельства о внесении данных об объектах, защищенных авторским правом, в государственный реестр, а также совместно опубликована одна монография.