



ASTANA  
INTERNATIONAL  
UNIVERSITY

ISSN 3106-9215  
eISSN 3106-9223

# NATURA SCIENTIA JOURNAL

---

Nº1 (1) 2025



**Астана Халықаралық университеті  
Международный университет Астана  
Astana International University**

**NATURA SCIENTIA JOURNAL**

**№ 1 (1) - 2025**

Жылына 4 рет шығады  
Выходит 4 раза в год  
Published 4 times a year

Астана - 2025  
Astana - 2025

**Бас редактор: Мырзагалиева А.Б.**,  
биология ғылымдарының докторы, профессор, Астана Халықаралық университеті, Қазақстан

**Бас редактордың орынбасары: Оразов А.Е.**,  
PhD, қауымдастырылған профессор м.а., Астана Халықаралық университеті, Қазақстан

**Редакциялық алқа:**

**Жабагин М.К.**, PhD докторы, қауымдастырылған профессор, Қазақстан

**Хапилина О.Н.**, биология ғылымдарының кандидаты, Қазақстан

**Черемушкина В.А.**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Ресей

**Гabor Шрамко**, PhD, профессор, Венгрия

**Тустубаева Ш.Т.**, PhD, Қазақстан

**Кубентаев С.А.**, PhD, қауымдастырылған профессор, Қазақстан

**Тожибаев К.Ш.**, биология ғылымдарының докторы, Өзбекстан

**Иманбаева А.А.**, биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қазақстан

**Жумагул М.Ж.**, PhD, қауымдастырылған профессордың м.а., Қазақстан

**Марчин Нобис**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, Польша

**Мария Хен**, хабилитацияланған доктор, профессор, Венгрия

**Туруспеков Е.К.**, биология ғылымдарының кандидаты, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан

**Абугалиева С.И.**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан

**Малгожата Суска-Малавска**, хабилитацияланған доктор, профессор, Польша

**Жауапты редактор – т.ғ.к. Мырзабекова А.М.**

**Меншіктенуші:** «Астана Халықаралық университеті» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі

**Тіркеу:** ҚР Мәдениет және ақпарат министрлігінің Ақпарат комитеті

**Бастапқы есепке қою құні мен нөмірі:** 16.01.2020 ж. тіркеу күелігімен № KZ93VPY00019404

**Екінші есепке қою:** 16.09.2025 № KZ06VPY00129416

**Мерзімділігі:** жылына 4 рет

**ISSN:** 3106-9215, **ISSN (Online):** 3106-9223

**Тақырыптық бағыты:** Биология

**Редакцияның мекенжайы:** 010000, Қазақстан, Астана қ., Қабанбай батыр даңғылы, 8

тел.: +7 (712) 47-62-10 (214), e-mail: nsj@aiu.edu.kz

© Astana International University

**Главный редактор: Мырзагалиева А.Б.,**  
доктор биологических наук, профессор, Международный университет Астана, Казахстан

**Заместитель главного редактора: Оразов А.Е.,**  
PhD, и.о. ассоциированного профессора, Международный университет Астана, Казахстан

**Редакционная коллегия:**

**Жабагин М.К.**, доктор PhD, ассоциированный профессор, Казахстан

**Хапилина О.Н.**, кандидат биологических наук, Казахстан

**Черёмушкина В.А.**, доктор биологических наук, профессор, Россия

**Гabor Шрамко**, PhD, профессор, Венгрия

**Тустубаева Ш.Т.**, PhD, Казахстан

**Кубентаев С.А.**, PhD, ассоциированный профессор, Казахстан

**Тожибаев К.Ш.**, доктор биологических наук, Узбекистан

**Иманбаева А.А.**, кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, Казахстан

**Жумагул М.Ж.**, PhD, и.о. ассоциированного профессора, Казахстан

**Марчин Нобис**, доктор медицинских наук, профессор, Польша

**Мария Хен**, хабилитированный доктор, профессор, Венгрия

**Туруспеков Е.К.**, кандидат биологических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстан

**Абугалиева С.И.**, доктор биологических наук, профессор, Казахстан

**Малгожата Суска-Малавска**, хабилитированный доктор, профессор, Польша

**Ответственный редактор – к.т.н. Мырзабекова А.М.**

**Собственник:** Товарищество с ограниченной ответственностью «Международный университет Астана»

**Регистрация:** Комитет информации Министерства культуры и информации РК

**Дата и номер первичной постановки на учет:** 16.01.2020 г., регистрационное свидетельство № KZ93VPY00019404

**Вторичная постановка на учет:** 16.09.2025 № KZ06VPY00129416

**Периодичность:** 4 раза в год

**ISSN: 3106-9215, ISSN (Online): 3106-9223**

**Тематическое направление:** Биология

**Адрес редакции:** 010000, Казахстан, г. Астана, пр. Кабанбай батыра, 8,  
тел.: +7 (712) 47-62-10 (214), e-mail: nsj@aiu.edu.kz

© Astana International University

**Editor-in-Chief: Myrzagaliyeva A.B.**,  
Doctor of Biological Sciences, Professor, Astana International University, Kazakhstan

**Deputy Editor-in-Chief: Orazov A.E.**,  
PhD, Acting Associate Professor, Astana International University, Kazakhstan

**Editorial Board:**

**Zhabagin M.K.**, PhD, Associate Professor, Kazakhstan

**Khapilina O.N.**, Candidate of Biological Sciences, Kazakhstan

**Cheremushkina V.A.**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia

**Gabor Sramko**, PhD, Professor, Hungary

**Tustubayeva Sh.T.**, PhD, Kazakhstan

**Kubentaev S.A.**, PhD, Associate Professor, Kazakhstan

**Tojibaev K.S.**, Doctor of Biological Sciences, Uzbekistan

**Imanbayeva A.A.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kazakhstan

**Zhumagul M.J.**, PhD, Acting Associate Professor, Kazakhstan

**Marcin Nobis**, MD, Professor, Poland

**Maria Höhn**, Habilitated Doctor, Professor, Hungary

**Turuspekov E.K.**, Candidate of Biological Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Kazakhstan

**Abugaliyeva S.I.**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazakhstan

**Malgorzata Suska-Malawska**, Habilitated Doctor, Professor, Poland

**Responsible Editor** – Candidate of Technical Sciences Myrzabekova A.M.

**Owner**: Limited Liability Partnership “Astana International University”

**Registration**: Information Committee of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

**Date and number of initial registration**: 16.01.2020, registration certificate № KZ93VPY00019404

**Secondary registration**: 16.09.2025 № KZ06VPY00129416

**Frequency**: 4 times a year

**ISSN**: 3106-9215, **ISSN (Online)**: 3106-9223

**Subject area**: Biology

**Address of edition**: 010000, Kazakhstan, Astana, Kabanbay Batyr avenue, 8,

Tel.: +7 (7172) 47-62-10 (214), e-mail: nsj@aiu.edu.kz

© Astana International University

**МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ**

Касымханов А.М., Крықпаева Г.С., Базаров С.Е., Самарханов Т.Н. Основные гидрохимические характеристики озера Жайсан в период 2020-2024 гг .....	7
Крықпаева Г.С., Касымханов А.М., Базаров С.Е., Самарханов Т.Н. Физико-географические условия и гидрохимическое состояние водоёмов местного значения Восточно-Казахстанской области.....	19
Касымханов А.М., Крықпаева Г.С., Базаров С.Е., Костюченко Д.А., Байжанова М.С. Динамика гидрологических и гидрохимических показателей Усть-Каменогорского водохранилища в 2020-2024 гг .....	29
Syzdykova A.B., Matniyazova G.K., Avezova A.A., Auezova N.S. Rheological properties of monoterpenes compounds .....	40
Mustafa F., Oleynikova E.M. Population biology of <i>Allium aflatunense</i> B. Fedtsch. introduced into the forest-steppe zone of the Russian Federation .....	47
Абилова Ш.Б., Карабалаева А.Б., Тулегенов А.С., Жумадина Ш.М. Особенности прироста хвойных деревьев в условиях лесостепной зоны Северного Казахстана: дendrochronological approach .....	56

## ОСНОВНЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ЖАЙСАН В ПЕРИОД 2020-2024 гг.

<sup>1</sup>**А.М. Касымханов** , <sup>1</sup>**Г.С. Қрықпаева\*** , <sup>1</sup>**С.Е. Базаров** , <sup>2</sup>**Т.Н. Самарханов** 

<sup>1</sup>Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г.

Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Международный университет Астана, Астана, Республика Казахстан

\*e-mail: krykraeva@fishrpc.kz

**А.М. Касымханов** – магистр биологии, и.о. директора Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**Г.С. Қрықпаева** – докторант, научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: krykraeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**С.Е. Базаров** – магистр естественных наук, научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**Т.Н. Самарханов** – PhD, и.о. ассоциированного профессора Международного университета Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена комплексному анализу гидрохимических характеристик озера Жайсан - одного из крупнейших и значимых водоёмов Восточно-Казахстанской области. В работе представлены результаты полевых исследований, выполненных в весенний и летний сезоны 2024 года, а также проведён ретроспективный сравнительный анализ с данными 2020-2023 гг. Особое внимание уделено изучению динамики растворённых газов, биогенных соединений, органического вещества и уровня минерализации. Отбор проб осуществлялся на станциях Тарбагатайского и Курчумского побережий, анализ выполнен с применением стандартных, общепринятых методик. Также проведён сопоставительный анализ полученных показателей с целью выявления как краткосрочных сезонных, так и долгосрочных межгодовых изменений. Результаты демонстрируют, что в целом гидрохимический режим озера характеризуется стабильными значениями и соответствует нормативам, установленным для рыбохозяйственных водоёмов. Зафиксировано увеличение содержания растворённого кислорода, снижение минерализации по сравнению с предыдущими годами, а также умеренные колебания содержания биогенных веществ. Реакция водной среды преимущественно слабощелочная, содержание органических веществ остаётся низким. Структура ионов в воде указывает на принадлежность озера к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Полученные результаты подтверждают благоприятные условия для обитания гидробионтов и необходимость продолжения комплексного мониторинга.

**Ключевые слова:** гидрохимия, озеро Жайсан, растворенные газы, биогенные соединения, органическое вещество, минерализация воды.

## 2020-2024 жж. ЖАЙСАН КӨЛІНІҚ НЕГІЗГІ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

<sup>1</sup>**А.М. Қасымханов, <sup>1</sup>Г.С. Қрықпаева\*, <sup>1</sup>С.Е. Базаров, <sup>2</sup>Т.Н. Самарханов**

<sup>1</sup>«Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесі, Өскемен қ.,  
Қазақстан

<sup>2</sup>Астана халықаралық университетті, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: krykraeva@fishrpc.kz

**А.М. Қасымханов** – биология магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің директоры м.а., Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**Г.С. Қрықпаева** – докторант, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: krykraeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**С.Е. Базаров** – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің экспедициялық жасақ басшысы, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**Т.Н. Самарханов** – PhD, Астана халықаралық университеттінің қауымдастырылған профессорының м.а., Астана қ., Қазақстан, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

**Аннотация.** Осы мақала Шығыс Қазақстан облысындағы ең ірі әрі маңызды су айдындарының бірі - Жайсан көлінің гидрохимиялық сипаттамаларына кешенді талдау жүргізуге арналған. Мақалада 2024 жылдың көктемгі және күзгі маусымдарында жүргізілген далалық зерттеу нәтижелері ұсынылып, олар 2020-2023 жылдардағы мәліметтермен салыстырмалы түрде талданды. Ерекше назар еріген газдардың, биогенді қосындылардың, органикалық заттардың және судың минералдану деңгейінің динамикасын зерттеуге аударылды. Су сынамалары Тарбағатай және Күршім жағалауларындағы бекеттерде алынып, стандартты гидрохимиялық әдістерді қолдана отырып зертханалық жағдайда талданды. Сонымен қатар, алынған көрсеткіштерге маусымдық (қысқа мерзімді) және көпжылдық (ұзақ мерзімді) өзгерістерді анықтау мақсатында салыстырмалы талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша, Жайсан көлінің гидрохимиялық режимі тұрақтылығымен сипатталады және балық шаруашылығы су айдындары үшін белгіленген нормативтерге сәйкес келеді. Еріген оттегінің концентрациясы жоғарылауы, минералдану деңгейінің алдыңғы жылдармен салыстырғанда төмендегені және биогенді заттар мөлшерінің біршама ауытқуы тіркелді. Су ортасының реакциясы сәл сілтілі, органикалық заттардың мөлшері төмен деңгейде. Иондық құрылымы бойынша көл гидрокарбонатты санатына, кальций тобына жататыны анықталды. Алынған мәліметтер гидробионттар тіршілігіне қолайлы жағдай жасалғанын және кешенді мониторингті жалғастыру қажеттілігін көрсетеді.

**Кілт сөздер:** гидрохимия, Жайсан көлі, еріген газдар, биогенді қосындылар, органикалық заттар, судың минералдануы.

## MAIN HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LAKE ZHAISAN IN THE PERIOD 2020-2024

**<sup>1</sup>A.M. Kasymkhanov, <sup>1</sup>G.S. Krykpaeva\*, <sup>1</sup>S.E. Bazarov, <sup>2</sup>T.N. Samarkhanov**

**<sup>1</sup>Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan**

**<sup>2</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan**

**\*e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz**

**A.M. Kasymkhanov** – master of Biology, Director of the Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**G.S. Krykpaeva** – doctoral student, Researcher at the Altai branch of the Scientific and Production Center for Fisheries, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**S.E. Bazarov** – master of Natural Sciences, Head of the Expeditionary Team, Altai Branch of the "Fisheries Research and Production Center" LLP, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**T.N. Samarkhanov** – PhD, Acting Associate Professor, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

**Abstract.** This article presents a comprehensive analysis of the hydrochemical characteristics of Lake Zhaisan, one of the largest and most significant bodies of water in the East Kazakhstan region. The paper presents the results of field studies conducted in the spring and fall of 2024, and also includes a retrospective comparative analysis with data from 2020-2023. Particular attention was paid to studying the dynamics of dissolved gases, biogenic compounds, organic matter, and mineralization levels. Sampling was carried out at stations on the Tarbagatai and Kurchum coasts, and analysis was performed using standard, accepted methods. A comparative analysis of the obtained parameters was also conducted to identify both short-term seasonal and long-term interannual changes. The results demonstrate that the lake's hydrochemical regime is generally stable and complies with standards established for fishery waters. An increase in dissolved oxygen levels, a decrease in mineralization compared to previous years, and moderate fluctuations in nutrient levels were recorded. The aquatic pH is predominantly slightly alkaline, and organic matter levels remain low. The ion structure of the water indicates that the lake belongs to the hydrocarbonate class, a calcium group. The obtained results confirm favorable conditions for aquatic organisms and the need for continued comprehensive monitoring.

**Keywords:** hydrochemistry, Lake Zhaisan, dissolved gases, biogenic compounds, organic matter, water mineralization.

**Введение.** Изучение химического состава водоёмов является одним из приоритетных направлений гидрохимии и водной экологии, так как химические параметры напрямую влияют на функционирование водных экосистем и могут служить надёжными индикаторами их состояния (Алекин, 1970:444, Лурье, 1971:376). В условиях нарастающего антропогенного давления важно своевременно выявлять изменения в химическом составе вод, способные привести к нарушению биологических и трофических связей в экосистемах (Гавриленко, 1990:298).

Целью настоящей работы является комплексное исследование пространственно-временной динамики ключевых гидрохимических параметров озера Жайсан за период 2020-2024 гг. Исследование направлено на выявление взаимосвязей между сезонными, климатическими и антропогенными факторами, влияющими на гидрохимический режим озера, с целью оценки текущего состояния экосистемы и прогноза её устойчивости к внешним нагрузкам.

**Задачи исследования:**

1. Оценить сезонную изменчивость гидрохимических показателей.
2. Провести сравнительный анализ данных за пять лет.
3. Выявить возможные причины наблюдаемых изменений в гидрохимическом режиме озера.

Биогенные элементы - это химические соединения, необходимые для жизнедеятельности водных организмов, и одновременно - ключевые регуляторы биологической продуктивности. К числу важнейших относятся соединения азота (аммонийный ион  $\text{NH}_4^+$ , нитриты  $\text{NO}_2^-$ , нитраты  $\text{NO}_3^-$ ) и фосфора (преимущественно фосфаты  $\text{PO}_4^{3-}$ ), участвующие в процессах фотосинтеза, роста водорослей и других автотрофных организмов (Алекин, 1970:444).

Избыточное поступление этих веществ в водоёмы, как правило, связано с сельскохозяйственным стоком, сточными водами и нарушением режима водоотведения. Результатом является эвтрофикация - процесс, сопровождающийся массовым развитием фитопланктона, «цветением» воды и нарушением газового баланса в экосистеме. При распаде избыточной биомассы увеличивается биохимическое потребление кислорода (БПК), что приводит к гипоксии или даже анаэробиозу в придонных слоях (Сладкова, Токтасынова, 2020:52-60).

Растворённый кислород ( $\text{O}_2$ ) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) являются важными регуляторами жизнедеятельности гидробионтов и параметрами, определяющими устойчивость водной среды. Кислород поступает в воду за счёт атмосферной диффузии и фотосинтетической активности водных растений, а расходуется в процессе дыхания и разложения органики (Chapra, 2008:844).

Недостаток кислорода (гипоксия) особенно часто наблюдается в перегруженных органикой и слабопроточных водоёмах, где замедлены процессы аэрации. В этих условиях резко снижается биоразнообразие, появляются устойчивые к дефициту кислорода организмы (например, некоторые виды синезелёных водорослей и бактерий), а также возможна аккумуляция токсичных продуктов анаэробного разложения, включая аммиак и сероводород.

Органическое вещество, поступающее в водоём как из естественных (почвенный сток, растительность), так и антропогенных источников (бытовые и промышленные стоки), активно участвует в процессах биологического самоочищения. Оно служит субстратом для гетеротрофных микроорганизмов, играющих ключевую роль в минерализации органики и круговороте веществ (Лурье, 1971:376, Турсунова, Жумабаев, 2022:120-129).

Однако чрезмерная концентрация органики может нарушать экологическое равновесие: повышать БПК, снижать прозрачность воды и, как следствие, ухудшать условия для фотосинтеза. Это ведёт к изменению видового состава водорослей, снижению продуктивности и нарушению пищевых цепей.

Минерализация - суммарное содержание растворённых солей - является одним из базовых показателей, характеризующих тип воды: пресная, солоноватая или солёная. Основные компоненты, определяющие уровень минерализации - это ионы кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ), натрия ( $\text{Na}^+$ ), калия ( $\text{K}^+$ ), хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ), сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Гавриленко, 1990:298). Минерализация влияет на осмотическое давление, буферные свойства воды, а также на биодоступность и токсичность ряда соединений. Кроме того, она определяет пригодность среды для обитания определённых видов гидробионтов: например, пресноводные организмы плохо переносят увеличение солёности, тогда как солоноватоводные и морские формы требуют определённого солевого баланса (Алекин, 1970:444).

Таким образом, исследование биогенных веществ, органики и минерализации позволяет комплексно оценивать трофический статус, уровень загрязнения и общее экологическое состояние водоёмов. В условиях изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки, мониторинг этих показателей становится важнейшей задачей для устойчивого управления водными ресурсами и охраны биологического разнообразия.

Изучение гидрохимического состояния озера Жайсан имеет важное значение, так как данный водоём играет ключевую роль в водохозяйственной системе Восточного Казахстана. Он обеспечивает экосистемные функции, включая водоснабжение, судоходство и рыбохозяйственную деятельность. Постоянный мониторинг гидрохимических параметров позволяет отслеживать изменения качества воды, оценивать степень антропогенной нагрузки и прогнозировать возможные экологические риски. Кроме того, анализ концентраций растворённых газов, биогенных соединений, органического вещества и уровня минерализации даёт возможность разработать научно обоснованные меры по сохранению экологического баланса и устойчивому использованию водных ресурсов.

В условиях климатических изменений и усиления антропогенного воздействия мониторинг гидрохимического режима становится особенно актуальным. Современные исследования водных объектов Казахстана и сопредельных территорий позволяют выявлять закономерности, оптимизировать методики исследования и определять ключевые факторы, влияющие на качество воды. Озеро Жайсан, расположенное в Восточно-Казахстанской области, представляет собой водоём, гидрохимические параметры которого оказывают значительное влияние на устойчивость региональной экосистемы и биоресурсный потенциал.

Озеро Жайсан расположено в широкой плоской котловине, ограниченной с юга хребтом Манрак, с юго-востока - хребтом Саур, которые являются частью горной системы Тарбагатая. Водоём относится к плотинным озёрам и питается преимущественно водами Кара Ертиса. С 1960 года, после создания водохранилища, включающего озеро Жайсан, его площадь существенно увеличилась и при среднемноголетнем уровне (390,84 м БС) составляет 2581 км<sup>2</sup> - около 60 % общей площади водохранилища. Длина озера достигает 140 км, ширина - до 35 км, максимальная глубина - 12 м.

Котловина характеризуется резко континентальным климатом с жарким летом (пик температур в июле) и холодной зимой (самый холодный месяц - январь). Зеркало озера расположено на высоте 390 м над уровнем моря. Рельеф представляет собой аккумулятивную равнину с абсолютными отметками от 400 до 490 м.

Будучи крупнейшим водоёмом Восточного Казахстана, Жайсан оказывает существенное влияние на экологическую и экономическую стабильность региона. Его гидрохимический режим формируется под воздействием как природных, так и антропогенных факторов: гидрологический режим, геология, климат, а также хозяйственная деятельность.

Согласно исследованию Савинковой, изменения уровня воды непосредственно отражаются на таких параметрах, как pH, содержание растворённого кислорода и степень минерализации. В работе «Особенности формирования химического состава вод озера Зайсан» (2003-2012 гг.) подчёркнута роль природно-гидрологических факторов в формировании химического состава (Савинкова, 2013а:137-144, Савинкова, 2013б, Савинкова, 2015:92-95). А.А. Асылбекова в 2015 году провела комплексные гидрохимические исследования, включая анализ газового режима, физико-химических свойств, а также биогенных и ионных соединений (Асылбекова, Куликов, 2016:16-29).

Комплексный подход к мониторингу водных объектов особенно важен с учётом биоресурсной значимости озера. Так, по данным Куликова и соавторов, ухудшение гидрохимических условий оказывает прямое влияние на продуктивность рыбных ресурсов и их экономическую оценку (Куликов и др., 2022:81-91).

Ретроспективный анализ химического состава вод бассейна реки Иртыш, выполненный Михайловой, Чемагиным и Медведевой, показал как природные, так и техногенные источники влияния (Михайлова и др., 2015:60-75). Кроме того, статьи, посвящённые морфометрии и гидрохимии казахстанских озёр, подчёркивают ключевую роль природно-климатических факторов и географии в формировании водного режима (Рянжин и др., 2015:510).

Настоящее исследование охватывает период 2020-2024 гг. и направлено на анализ гидрохимических показателей озера Жайсан с учётом сезонных и антропогенных факторов.

**Материалы и методы исследования.** Гидрохимические исследования озера Жайсан в 2024 году проводились в рамках сезонного мониторинга в весенний (апрель-май) и летний (июль-август) периоды. Отбор проб осуществлялся на репрезентативных станциях, охватывающих два ключевых прибрежных участка водоема: Курчумское побережье (станции: Коржун, Бархот, Аманат, Кара Ертис) и Тарбагатайское побережье (станции: мыс Тополев, мыс Волчий, Карсакбай). Образцы воды отбирались из поверхностного слоя (0-0,5 м) в районах с разной степенью воздействия природных и антропогенных факторов.

Дополнительные гидрологические данные за период 2020-2023 гг. были предоставлены Восточно-Казахстанским филиалом РГП «Казгидромет». Эти сведения включали информацию о температуре воды, уровне водоема, скорости течений и других характеристиках, влияющих на формирование химического состава воды.

Гидрофизические и гидрохимические исследования проводились в соответствии с действующими национальными и международными стандартами, включая ГОСТ 17.1.5.05-85, ГОСТ 31861-2012 и методические указания, изложенные в (Семенов, 1977:542, Лурье, 1973:376, Алекин, 1959:302). Отбор проб производился как из поверхностных, так и из придонных горизонтов (в местах с глубинами более 5 м) с помощью стандартной пробоотборной системы СП-2, обеспечивающей сохранение исходного состояния воды до момента анализа.

Измерение содержания растворённого кислорода проводилось непосредственно на месте отбора проб с использованием портативного кислородомера МАРК-302Э, откалиброванного перед каждым выездом в полевые условия. Показатели температуры, электропроводности и pH также регистрировались *in situ*.

Химико-аналитическое определение концентраций биогенных соединений ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), органического вещества (включая показатели БПК и ХПК), а также расчёты общей минерализации (по сумме основных катионов и анионов) проводились в условиях аккредитованной лаборатории ТОО «Лаборатория-Атмосфера». Применялись методы фотометрии, титриметрии и ионной хроматографии с использованием современного аналитического оборудования, включая спектрофотометры, иономеры и автоанализаторы.

Полученные в 2024 году данные были подвергнуты сравнительному анализу с результатами предыдущих исследований за 2020-2023 гг. с целью выявления трендов, сезонной динамики и возможных изменений, обусловленных климатическими и антропогенными факторами. Сопоставление осуществлялось по основным гидрохимическим параметрам с учётом климатических условий каждого года, уровня водности и характеристик водосбора.

**Результаты и обсуждение.** В ходе проведения полевых исследований в 2024 году температура воды в озере Жайсан в периоды отбора проб варьировала в пределах от 11,5 до 16,0 °C, что соответствует сезонным особенностям водного режима. В весенний период (апрель-май) температурные показатели находились в диапазоне 11,5-13,8 °C, с незначительной межстанционной вариацией. В частности, различия между станциями Тарбагатайского и Курчумского побережья оказались статистически незначимыми, что может быть связано с равномерным прогревом водоема на данном этапе гидрологического цикла.

В летний период наблюдалось некоторое увеличение температуры воды по сравнению с весной, что объясняется длительным прогревом воды в течение летнего сезона и замедленным охлаждением в условиях относительно тёплой осени 2024 года. Средняя температура воды у побережья Курчумского района составила 15,3 °C, при этом варьирование по станциям находилось в пределах 15,0-16,0 °C. Для станций Тарбагатайского побережья отмечено аналогичное температурное распределение: средняя температура составила 15,5 °C, при колебаниях также в диапазоне 15,0-16,0 °C. Таким образом, температурные характеристики в летний период на обеих группах станций были сопоставимыми, без существенных различий, несмотря на локальные особенности микроклимата.

Сопоставительный анализ гидрохимических показателей охватывает как межсезонную,

так и межгодовую динамику с 2020 по 2024 годы. Представленные результаты основаны на обобщении данных, полученных в ходе сезонных наблюдений, и включают в себя средние значения концентраций растворённых газов (кислорода), основных биогенных элементов (аммонийный азот  $\text{NH}_4^+$ , нитриты  $\text{NO}_2^-$ , нитраты  $\text{NO}_3^-$ , фосфаты  $\text{PO}_4^{3-}$ ), органического вещества (по показателям БПК и ХПК), а также минерализации воды (по суммарному содержанию основных ионов).

Анализ проводился с разбивкой по побережьям (Курчумское и Тарбагатайское), сезонам (весна и лето), а также в ретроспективном аспекте за пятилетний период. Итоговые значения сведены в таблицу 1, которая позволяет проследить как текущие пространственные различия между участками водоема, так и долгосрочные тенденции, связанные с изменением климатических условий, колебаниями уровня водности и степенью антропогенной нагрузки.

Полученные данные демонстрируют:

- сезонные колебания содержания растворённого кислорода (сниженные значения в летний период в придонных слоях);
- увеличение концентраций фосфатов и аммонийного азота в отдельных участках в весенне-летний период;
- тенденцию к незначительному росту минерализации воды на протяжении последних пяти лет, особенно в годы с пониженной водностью;
- усиление трофирования в районах с замедленным водообменом, о чём свидетельствуют повышенные значения БПК и ХПК.

Таблица 1. Динамика средних значений основных гидрохимических показателей озера Жайсан в период 2020-2024 годы

Год исследо-ваний	рН	Растворенные газы		Биогенные соединения, мг/дм <sup>3</sup>				Органическое вещество, мгО/дм <sup>3</sup>	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>
		CO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>		
<b>Курчумское побережье</b>									
2024	8,18	0,1	8,12	79,7	0,46	0,01	0,12	0,02	3,2
2023	7,20	0,1	7,77	88,1	0,25	0,07	0,11	0,02	2,4
2022	7,96	0,2	7,99	86,7	0,23	0,01	1,07	0,04	3,1
2021	8,30	0,1	9,0	91,2	0,11	0,02	1,77	0,09	2,8
2020	8,22	-	8,81	92,5	0,27	0,04	1,13	0,08	3,2
<b>Тарбагатайское побережье</b>									
2024	7,95	0,1	8,28	84,8	0,31	0,01	0,11	0,02	3,2
2023	7,84	0,1	7,84	88,7	0,25	0,07	0,12	0,02	2,4
2022	8,03	0,2	8,35	90,1	0,18	0,01	1,44	0,05	3,1
2021	8,20	0,1	8,70	90,2	0,18	0,02	1,57	0,11	3,2
2020	8,14	-	8,61	89,5	0,52	0,06	1,09	0,10	3,3
<b>оз. Жайсан (в целом)</b>									
2024	8,06	0,1	8,20	82,3	0,38	0,01	0,11	0,02	3,2
2023	7,52	0,1	7,81	88,4	0,25	0,07	0,12	0,02	2,4
2022	7,98	0,2	8,11	87,8	0,21	0,01	1,18	0,04	3,1
2021	8,20	0,1	8,90	90,7	0,14	0,02	1,67	0,10	2,9
2020	8,22	-	8,72	91,0	0,40	0,05	1,11	0,09	3,3

Пределы колебаний водородного показателя в весенний период 2024 года находились в диапазоне 8,13-8,84, что соответствует слабощелочной реакции среды, характерной для большинства водоёмов Восточного Казахстана. Наименьшие значения рН были зарегистрированы на станции Кара Ертис, а наибольшие - на станции Коржун. Слабощелочная

реакция вод отражает нормальное состояние системы карбонатного равновесия и свидетельствует о хорошей буферной способности водоёма.

В летний период значения pH изменялись в пределах 6,93-8,26, что также соответствует слабощелочной среде. Минимальные значения зарегистрированы на станции Коржун, а максимальные - на участке мыс Тополев. Незначительное снижение показателя в летний сезон, вероятно, связано с повышением концентрации углекислого газа в результате разложения органического вещества и уменьшением фотосинтетической активности фитопланктона (что типично для летнего периода) (Алекин, 1970:444, Лурье, 1971:376).

В целом, сезонные и пространственные различия pH в озере Жайсан не выходили за пределы естественных колебаний, характерных для пресных водных объектов региона. Таким образом, поверхностные воды озера в различных районах и в разные сезоны 2024 года относятся к слабощелочным и соответствуют нормативам, установленным для рыбохозяйственных водоёмов (Министерство водных ресурсов и ирригации РК, 2025).

Содержание растворённого кислорода ( $O_2$ ) в весенний период изменялось в интервале 7,60-8,11 мг/дм<sup>3</sup>, при степени насыщения 71,16-74,11 %. Минимальные значения были отмечены на станции Аманат, тогда как наибольшие - на станции Карсакбай. В целом, концентрации кислорода в весенний период указывают на благоприятные условия аэрации водоёма и активные процессы фотосинтеза в зоне освещения.

Анализ пространственного распределения показал, что на Курчумском побережье содержание растворённого кислорода было несколько ниже, чем на Тарбагатайском побережье. Это может быть связано с различиями в гидродинамических условиях: на Курчумской стороне наблюдается меньшая скорость течений и повышенное накопление органического материала, что способствует расходу кислорода на процессы минерализации (по аналогии с данными Гавриленко, 1990:298).

В летний период отмечено незначительное повышение концентрации кислорода, значения изменились от 8,38 мг/дм<sup>3</sup> (ст. Карсакбай) до 9,00 мг/дм<sup>3</sup> (ст. Бархот). Увеличение содержания растворённого кислорода летом связано с понижением температуры воды, что способствует повышению растворимости кислорода, а также с усилением ветрового перемешивания водных масс.

В течение всего периода наблюдений концентрации растворённого кислорода находились в пределах нормативов для рыбохозяйственных водоёмов (не ниже 6,0 мг/дм<sup>3</sup>), что указывает на отсутствие кислородного дефицита и благоприятные условия для гидробионтов (Министерство водных ресурсов и ирригации РК, 2025).

Показатель перманганатной окисляемости - один из основных индикаторов содержания органического вещества в водоёме. Для озера Жайсан этот параметр характеризуется относительной стабильностью в пространстве и времени.

Весной 2024 года содержание органического вещества изменилось в пределах 3,1-3,3 мгО/дм<sup>3</sup>, тогда как летом - в диапазоне 3,2-3,4 мгО/дм<sup>3</sup>. Небольшое сезонное повышение летних значений может быть связано с поступлением органики из прибрежных зон при разложении растительности и сезонным уменьшением интенсивности самоочищения вод.

По среднему значению перманганатной окисляемости озеро Жайсан относится к категории вод с очень малой окисляемостью, что указывает на низкое содержание легкоокисляемых органических веществ и отсутствие значительного антропогенного загрязнения.

Следует отметить, что концентрация органического вещества тесно связана с содержанием биогенных соединений (азота и фосфора), поскольку органические вещества служат источником для микробиологической минерализации и образования аммонийных и нитратных форм азота (Wetzel, 2001: 1006, Сладкова, Токтасынова, 2020: 52-60). В условиях умеренного содержания органики поддерживается оптимальный баланс между продукционными и деструкционными процессами, что обеспечивает экологическую

## устойчивость водоёма

Анализ содержания биогенных веществ включал определение азотсодержащих соединений (азот аммонийный, нитриты, нитраты), фосфатов и общего железа (рис. 1). Динамика средних значений основных гидрохимических показателей озера Жайсан в период 2020-2024 годы

Концентрация аммонийного азота в среднем по водоему составляла 0,38 мг/дм<sup>3</sup>, содержание нитритов составило 0,014 мг/дм<sup>3</sup> и содержание нитратов 0,11 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание фосфатов так же было неизменным и равнялось 0,021 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание общего железа составило 0,112 мг/дм<sup>3</sup>, при минимальных показателях 0,112 мг/дм<sup>3</sup> (м. Тополев) и максимальных 0,117 (м. Бархот). В целом, содержание биогенных веществ в поверхностных водах оз. Жайсан в 2024 году находилось в пределах допустимых нормативов.

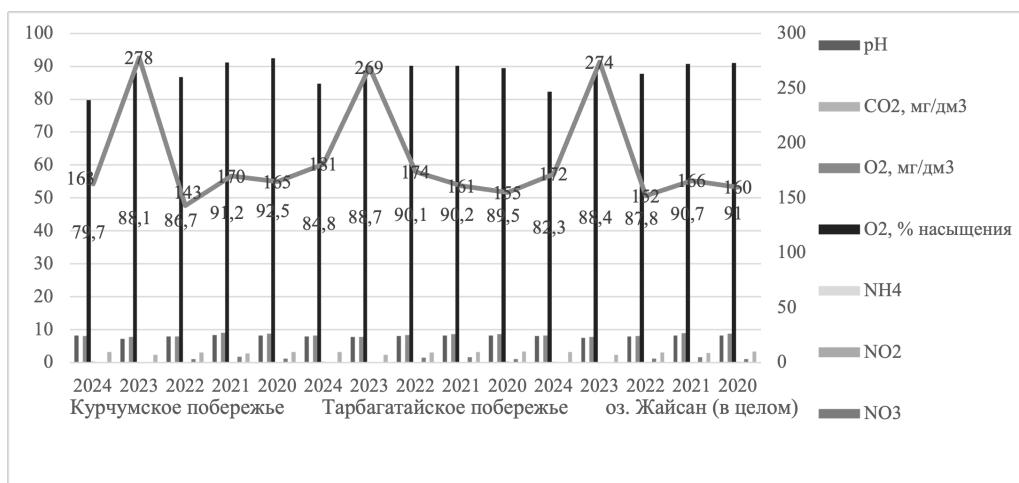


Рисунок 1. Динамика средних значений основных гидрохимических показателей озера Жайсан в период 2020--2024 годы

По показателям жесткости поверхностные воды оз. Жайсан относятся к категории «мягкие». На Курчумском побережье среднее значение жесткости равнялось 2,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> (вода мягкая).

На Тарбагатайском побережье на станциях м. Тополев и м. Карсакбай поверхностные воды классифицировались как «мягкие». Максимальные показатели жесткости были зафиксированы на станции м. Волчий.

Минерализация воды в текущем году в весенний и летний периоды находилась в пределах 141-313 мг/дм<sup>3</sup>. Средний показатель минерализации озера Жайсан в сравнении с 2023 годом в текущем году уменьшился на 37 %. Наименьшие значения наблюдались на станции Аманат, а наибольшие - были отмечены на станции м. Волчий. По показателям общей минерализации озеро Жайсан относится к категории «пресных».

Содержание главных ионов находилось в пределах допустимых значений (рис. 2).

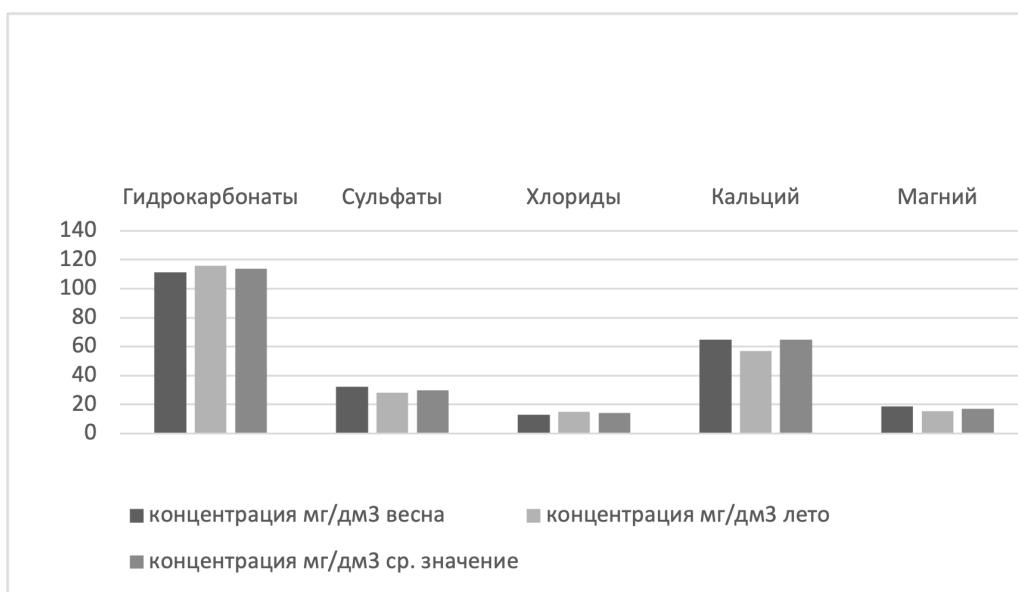


Рисунок 2. Средние концентрации основных ионов в поверхностных водах оз. Жайсан в 2024 году

Максимальные концентрации показывают гидрокарбонаты, которые в весенний период находились в интервале 106,8-128,1 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальные значения отмечались на станциях Бархот и Аманат. Максимальное содержание гидрокарбонатов зарегистрировано на станции Кара Ертис. В летний период минимальное значение содержания гидрокарбонатов отмечено на станции Бархот, а максимальное - на станции м. Волчий. Из катионов доминировали ионы кальция (рис.1). Содержание ионов кальция изменялось от 57 мг/дм<sup>3</sup> до 80 мг/дм<sup>3</sup> весной. Минимальное значение отмечено на станции Бархот, а максимальное - на станции Кара Ертис. В летний период отмечено незначительное снижение концентраций кальция в воде до предельных значений 53,0 - 75,0 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание катионов калия было ниже предела обнаружения во всех точках отбора. Содержание катионов натрия было в пределах от 0,23 мг/дм<sup>3</sup> до 0,25 мг/дм<sup>3</sup>. В соответствии с классификацией О.А. Алекина поверхностные воды озера Жайсан относятся к гидрокарбнатному классу, группе кальция, первому типу.

**Заключение.** По результатам проведённых исследований установлено, что в текущем году гидрохимическое состояние озера Жайсан характеризовалось в целом благоприятными условиями для функционирования водной экосистемы. Воды озера отличались устойчивым кислородным режимом, что свидетельствует о достаточной аэрации и хорошем самоочищающем потенциале водоёма. Реакция водной среды оставалась слабощелочной, что является типичной характеристикой для природных вод бассейна региона. Показатели перманганатной окисляемости находились на низком уровне, что указывает на незначительное присутствие органических загрязнений. По величине общей минерализации воды озера классифицируются как пресные.

Содержание биогенных элементов (соединений азота и фосфора) в пробах не превышало установленные нормативные значения, что свидетельствует об отсутствии эвтрофикационных процессов и поступления значительных количеств антропогенных загрязнений. Таким образом, совокупность полученных данных позволяет оценить гидрохимический режим озера Жайсан как благоприятный для обитания и развития гидробионтов.

Анализ многолетней динамики основных гидрохимических показателей поверхностных вод озера за период 2020-2024 гг. выявил ряд закономерных тенденций. В частности, наблюдается смещение водородного показателя (рН) от «нейтральной» зоны в сторону «слабощелочной», что, вероятно, связано с изменением соотношения ионных форм в системе карбонатного равновесия. Отмечено устойчивое увеличение средних концентраций

растворённого кислорода, что может быть обусловлено как повышением фотосинтетической активности фитопланктона, так и благоприятными температурными и гидродинамическими условиями в водоёме.

В группе биогенных веществ зафиксировано повышение содержания аммонийного азота при одновременном снижении концентраций нитратов, нитритов и фосфатов, что свидетельствует о протекании процессов аммонификации и о возможных изменениях в соотношении источников поступления азотных соединений. По сравнению с 2023 годом, в 2024 году отмечено незначительное увеличение концентраций органических веществ, что, вероятно, связано с сезонными колебаниями продукционно-деструкционных процессов в экосистеме озера.

Особенностью текущего года стало снижение уровня общей минерализации - в 2024 году она уменьшилась на 37 % относительно максимального значения, зарегистрированного в 2023 году (274 мг/дм<sup>3</sup>). Это может быть связано с гидрологическими особенностями сезона, увеличением водообмена или изменением притока речных вод.

Соотношение основных ионов во все годы наблюдений соответствовало гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу по классификации О.А. Алекина, что отражает устойчивость ионного состава и отсутствие существенного антропогенного влияния на химический облик вод озера.

Таким образом, результаты мониторинга подтверждают стабильность гидрохимического режима озера Жайсан и его благоприятное состояние, обеспечивающее нормальные условия для существования водных организмов.

#### Литература

- Алекин, 1959 - Алекин О.А. Методы исследования физических свойств и химического состава воды //Жизнь пресных вод СССР /акад. Е.Н. Павловский, проф. В.И. Жадин. Москва-Ленинград, 1959. - Т. IV. ч.2. - 302 с. [Rus]
- Алекин, 1970 - Алекин О.А. *Основы гидрохимии*. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1970. - 444 с. [Rus]
- Алекин, Дроздов, 1972 - Алекин О.А., Дроздов А.А. Классификация природных вод по ионному составу // *Гидрохимия суши*. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1972. - С. 45-58. [Rus]
- Асылбекова, Куликов, 2016 - Асылбекова С. Ж., Куликов Е. В. Интродукция рыб и водных беспозвоночных в водоёмы Казахстана: результаты и перспективы //Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016. №. 3. - С. 16-29. [Rus]
- Гавриленко, 1990 - Гавриленко М.М. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши*. - Москва: Гидрометеоиздат, 1990. - 298 с.[Rus]
- Куликов, 2022 - Куликов Е. В. и др. Оценка стоимости рыбных ресурсов как инструмент регулирования природопользования в Казахстане //Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary. - 2022. - №. 3 (114). С. 81-91.
- Лурье, 1971 - Лурье Ю.Ю. *Аналитическая химия природных вод*. - Москва: Химия, 1971.- 376 с. [Rus]
- Лурье, 1973 - Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. - Москва: Химия, 1973.- 376 с.
- Министерство водных ресурсов и ирrigации Республики Казахстан. (2025). Министерство водных ресурсов и ирrigации Республики Казахстан. (2025). Приказ № 111-НК от 4 июня 2025 года «Об утверждении единой системы классификации качества воды в поверхностных водных объектах и (или) их частях». [Rus]
- Михайлова и др., 2015 - Михайлова Л. В., Чемагин А. А., Медведева И. Н. Ретроспективный анализ и современное состояние гидрохимического режима р. Иртыш в нижнем течении //Вестник рыбозоологии и науки. 2015. Т. 2.№. 2. С. 60-75. [Rus]
- Рянгин и др., 2015 - Рянгин С. Н., Микишева Н. В., Жуманғалиева З. М. Морфометрические и гидрохимические характеристики озер Казахстана //Водные ресурсы.2015. Т. 42. №. 5.- С. 510-510.[Rus]
- Семенов, 1977 - Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. - 542 с. [Rus]
- Савинкова, 2013а - Савинкова О. В. «О взаимосвязи гидрологического и гидрохимического режимов Бухтарминского водохранилища» *Гидрометеорология и экология* 1 (68) (2013): 137-144. [Rus]
- Савинкова, 2013б - Савинкова О. В. Особенности формирования химического состава вод озера Зайсан // *Гидрометеорология и экология*. 2013. №3 (70). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-himicheskogo-sostava-vod-ozera-zaysan> (дата обращения: 10.03.2025). [Rus]
- Савинкова, 2015 - Савинкова О. В. и др. Современное экологическое состояние озера Зайсан по гидрохимическим показателям //Альманах современной науки и образования. - 2015. - №. 1.-С. 92-95 [Rus]
- Сладкова, Токтасынова, 2020 - Сладкова Е.А., Токтасынова А.Б. Эвтрофикация и кислородный режим озёр Казахстана // *Вестник КазНУ. Серия экологическая*. - 2020. - №2(73). - С. 52-60. [Rus]
- Турсунова, Жумабаев, 2022 - Турсунова Ж.К., Жумабаев Н.А. Органическое вещество и биогенные элементы в озёрах Восточного Казахстана // *Известия НАН РК. Серия геологическая*. - 2022.-№4(454). - С. 120-129.[Rus]
- Chapra, 2008 - Chapra S.C. *Surface Water-Quality Modeling*. - Waveland Press, 2008. - 844 p. [Eng]
- Wetzel , 2001 - Wetzel R.G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. - Academic Press, 2001. 1006 p. [Eng]

#### References

- Alekin, 1959 - Alekin, O. A. (1959). Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i khimicheskogo sostava vody [Methods for Studying the Physical Properties and Chemical Composition of Water]. In Zhizn' presnykh vod SSSR [Life of Freshwaters of the USSR] (Vol. IV, Part 2). Moscow-Leningrad. 302 p. [In Russ]
- Alekin, 1970 - Alekin, O. A. (1970). Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of Hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 444 p. [In Russ]

- Alekin & Drozdov, 1972 - Alekin, O. A., & Drozdov, A. A. (1972). Klassifikatsiya prirodnykh vod po ionnomu sostavu [Classification of Natural Waters by Ionic Composition]. In Gidrokhimiya sushi [Hydrochemistry of Land] (pp. 45-58). Leningrad: Gidrometeoizdat.[In Russ]
- Asylbekova & Kulikov, 2016 - Asylbekova, S. Zh., & Kulikov, E. V. (2016). Introduktsiya ryb i vodnykh bespozvonochnykh v vodoemny Kazakhstana: rezul'taty i perspektivny [Introduction of Fish and Aquatic Invertebrates into Water Bodies of Kazakhstan: Results and Prospects]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo, (3), 16-29.[In Russ]
- Gavrilenko, 1990 - Gavrilenko, M. M. (1990). Rukovodstvo po khimicheskому analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guide to Chemical Analysis of Surface Waters of the Land]. Moscow: Gidrometeoizdat. 298 p. [In Russ]
- Kulikov et al., 2022 - Kulikov, E. V., et al. (2022). Otsenka stoimosti rybnykh resursov kak instrument regulirovaniya prirodopol'zovaniya v Kazakhstane [Assessment of the Value of Fish Resources as a Tool for Regulating Nature Management in Kazakhstan]. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University: Multidisciplinary, 3(114), 81-91.[In Russ]
- Lur'e, 1971 - Lur'e, Yu. Yu. (1971). Analiticheskaya khimiya prirodnykh vod [Analytical Chemistry of Natural Waters]. Moscow: Khimiya. 376 p. [In Russ]
- Lur'e, 1973 - Lur'e, Yu. Yu. (1973). Unifitsirovannye metody analiza vod [Unified Methods of Water Analysis]. Moscow: Khimiya. 376 p.[In Russ]
- Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, 2025 - Ministerstvo vodnykh resursov i irrigatsii Respubliki Kazakhstan. (2025). Prikaz No. 111-NK ot 4 iyunya 2025 goda ``Ob utverzhdenii edinoy sistemy klassifikatsii kachestva vody v poverkhnostnykh vodnykh ob"ektakh i (ili) ikh chastyakh" [Order No. 111-NK of June 4, 2025 ``On the Approval of a Unified System for Classifying Water Quality in Surface Water Bodies and/or Their Parts"].[In Russ]
- Mikhaylova et al., 2015- Mikhaylova, L. V., Chemagin, A. A., & Medvedeva, I. N. (2015). Retrospektivnyy analiz i sovremennoe sostoyanie gidrokhimicheskogo rezhima r. Irtysh v nizhnem techenii [Retrospective Analysis and Current State of the Hydrochemical Regime of the Irtysh River in Its Lower Reach]. Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki, 2(2), 60-75. [In Russ]
- Ryanzhin et al., 2015 - Ryanzhin, S. N., Myakisheva, N. V., & Zhumangalieva, Z. M. (2015). Morfometricheskie i hidrokhimicheskie kharakteristiki ozer Kazakhstana [Morphometric and Hydrochemical Characteristics of Lakes in Kazakhstan]. Vodnye resursy, 42(5), 510-510.[In Russ]
- Semenov, 1977 - Semenov, A. D. (1977). Rukovodstvo po khimicheskому analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guide to Chemical Analysis of Surface Waters of the Land]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 542 p. [In Russ]
- Savinkova, 2013a - Savinkova, O. V. (2013). O vzaimosvyazi gidrologicheskogo i hidrokhimicheskogo rezhimov Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [On the Interrelation of Hydrological and Hydrochemical Regimes of the Bukhtarma Reservoir]. Gidrometeorologiya i ekologiya, 1(68), 137-144.[In Russ]
- Savinkova, 2013b - Savinkova, O. V. (2013). Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava vod ozera Zaysan [Features of the Formation of the Chemical Composition of Water in Lake Zaysan]. Gidrometeorologiya i ekologiya, 3(70). Retrieved from CyberLeninka (accessed: 10.03.2025).[In Russ]
- Savinkova et al., 2015 - Savinkova, O. V., et al. (2015). Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie ozera Zaysan po hidrokhimicheskim pokazatelyam [Modern Ecological State of Lake Zaysan According to Hydrochemical Indicators]. Almanakh sovremennoy nauki i obrazovaniya, (1), 92-95.[In Russ]
- Sladkova & Toktasyanova, 2020- Sladkova, E. A., & Toktasyanova, A. B. (2020). Evtrofikatsiya i kislorodnyy rezhim ozer Kazakhstana [Eutrophication and Oxygen Regime of Lakes in Kazakhstan]. Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya, 2(73), 52-60. [In Russ]
- Tursunova & Zhumabayev, 2022- Tursunova, Zh. K., & Zhumabayev, N. A. (2022). Organicheskoe veshchestvo i biogennye elementy v ozerakh Vostochnogo Kazakhstana [Organic Matter and Biogenic Elements in Lakes of Eastern Kazakhstan]. Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya, 4(454), 120-129. [In Russ]
- Chapra, 2008 - Chapra, S. C. (2008). Surface Water-Quality Modeling. Waveland Press. 844 p. [In Eng]
- Wetzel, 2001 - Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems. Academic Press. 1006 p. [In Eng]

## ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ ВОСТОЧНО-КАЗАХСАНСКОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>**Г.С. Крықпаева\***<sup>ID</sup>, <sup>1</sup>**А.М. Касымханов**<sup>ID</sup>, <sup>1</sup>**С.Е. Базаров**<sup>ID</sup>, <sup>2</sup>**Т.Н. Самарханов**<sup>ID</sup>

<sup>1</sup>Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г.

Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Международный университет Астана, Астана, Республика Казахстан

\*e-mail: krykraeva@fishrpc.kz

**Г.С. Крықпаева** – докторант, научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: krykraeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**А.М. Касымханов** – магистр биологии, директор Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**С.Е. Базаров** – магистр естественных наук, начальник экспедиционного отряда Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**Т.Н. Самарханов** – PhD, и.о. ассоциированного профессора Международного университета Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

**Аннотация.** В работе использованы материалы, собранные в ходе экспедиционных выездов, проведённых в 2024 году на озере Когедай и на пруде станции 23 км. В статье приведены краткие физико-географические характеристики водоёмов, определены морфометрические характеристики и координаты исследуемых водных объектов. Представлены результаты гидрохимического анализа озера Когедай и пруда станции 23 км, включающие оценку физико-химических параметров, газового режима, минерализации, содержания органических и биогенных веществ, а также основных ионов. Результаты гидрохимических показателей сопоставлены с действующими рыбохозяйственными нормативами. Целью настоящего исследования являлось проведение физико-географической характеристики и комплексной оценки гидрохимического режима водоёмов с целью определения современного состояния их гидрохимических параметров и сопоставления полученных данных с действующими рыбохозяйственными нормативами.

Установлено, что озеро Когедай характеризуется слабощелочной реакцией среды, оптимальным кислородным режимом, очень малой окисляемостью, водоем пресный по минерализации. Содержание биогенных соединений не превышало установленные нормативы.

Пруд станция 23 км характеризовался благоприятным кислородным режимом, низкой минерализацией и слабощелочной реакцией среды. Превышений концентраций биогенных соединений не было отмечено, в целом условия пруда оптимальны для обитания гидробионтов.

**Ключевые слова:** озеро Когедай, пруд станция 23 км, физико-географическая характеристика, гидрохимический режим, биогенные вещества, минерализация.

## ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ЖЕРГІЛІКТІ МАҢЫЗДАҒЫ СУ АЙДЫНДАРЫНЫҢ ФИЗИКА-ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫ

**<sup>1</sup>Г.С. Қрықпаева\*, <sup>1</sup>А.М. Касымханов, <sup>1</sup>С.Е. Базаров, <sup>2</sup>Т.Н. Самарханов**

<sup>1</sup>«Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесі, Өскемен қ.,  
Қазақстан

<sup>2</sup>Астана халықаралық университетті, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: krukraeva@fishrpc.kz

**Г.С. Қрықпаева** – докторант, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: krukraeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**А.М. Касымханов** – биология магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің директоры м.а., Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**С.Е. Базаров** – жаратылыштану ғылымдарының магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің экспедициялық жасақ басшысы, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**Т.Н. Самарханов** – PhD, Астана халықаралық университеттінің қауымдастырылған профессорының м.а., Астана қ., Қазақстан, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

**Андратпа.** Мақалада 2024 жылы Көгедай көлі мен 23 км станциясының тоғанында жүргізілген экспедициялық зерттеу материалдары пайдаланылды. Мақалада су айдындарының қысқаша физика-географиялық сипаттамалары, олардың морфометриялық көрсеткіштері мен координаталары көлтірілген. Көгедай көлі мен 23 км станциясының тоғанындағы гидрохимиялық талдау нәтижелері ұсынылған, оған физика-химиялық параметрлердің, газдық тәртіптің, минералданудың, органикалық және биогендік заттардың, сондай-ақ негізгі иондардың мөлшерін бағалау кіреді. Алынған гидрохимиялық көрсеткіштер қолданыстағы балық шаруашылығы нормативтерімен салыстырылды.

Зерттеудің мақсаты -су айдындарының физика-географиялық сипаттамасын жасау және олардың гидрохимиялық режиміне кешенді баға беру арқылы қазіргі гидрохимиялық жағдайын анықтау және нәтижелерді қолданыстағы балық шаруашылығы нормативтерімен салыстыру.

Көгедай көлі аз сілтілік реакциясымен, оңтайлы оттегі режимімен, өте төмен тотығуымен және төмен минералданудымен сипатталады. Биогендік қосылыстардың мөлшері белгіленген нормативтерден аспаған.

23 км станциясының тоғаны да қолайлы оттегі режимімен, төмен минералданудымен және аз сілтілік реакциясымен ерекшеленеді. Биогендік қосылыстардың концентрацияларының артуы байқалмады, жалпы алғанда тоғанның жағдайы гидробионттардың тіршілігі үшін оңтайлы болып табылады.

**Кілт сөздер:** Көгедай көлі, 23 км станциясы тоғаны, гидрохимиялық режим, биогендік заттар, минералдану.

## PHYSICO-GEOGRAPHICAL CONDITIONS AND HYDROCHEMICAL STATE OF LOCAL WATER BODIES IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION

**<sup>1</sup>G.S. Krykpaeva\*, <sup>1</sup>A.M. Kasymkhanov, <sup>1</sup>S.E. Bazarov, <sup>2</sup>T.N. Samarkhanov**

<sup>1</sup>Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan

\*e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz

**G.S. Krykpaeva** - doctoral student, Researcher at the Altai branch of the Scientific and Production Center for Fisheries, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**A.M. Kasymkhanov** - master of Biology, Director of the Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**S.E. Bazarov** - master of Natural Sciences, Head of the Expeditionary Team, Altai Branch of the ``Fisheries Research and Production Center" LLP, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**T.N. Samarkhanov** - PhD, Acting Associate Professor, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

**Abstract.** The study is based on materials collected during field expeditions conducted in 2024 at Lake Kogedai and the pond near Station 23 km. The article provides brief physico-geographical descriptions of the water bodies, including their morphometric characteristics and geographic coordinates. The results of the hydrochemical analyses of Lake Kogedai and the Station 23 km pond are presented, covering assessments of physicochemical parameters, gas regime, mineralization, concentrations of organic and biogenic substances, as well as major ions. The obtained hydrochemical indicators were compared with the current fishery standards.

The aim of the present study was to carry out a physico-geographical characterization and a comprehensive assessment of the hydrochemical regime of the water bodies in order to determine their current hydrochemical status and to compare the results with existing fishery norms.

Lake Kogedai is characterized by a slightly alkaline reaction, an optimal oxygen regime, very low oxidizability, and low mineralization. The content of biogenic compounds did not exceed the established standards.

The pond at Station 23 km showed a favorable oxygen regime, low mineralization, and a slightly alkaline medium. No exceedances of biogenic compound concentrations were detected; overall, the pond conditions are optimal for the existence of hydrobiots.

**Keywords:** Lake Kogedai, 23 km Station Pond, hydrochemical regime, biogenic substances, mineralization.

**Введение.** Восточно-Казахстанская область обладает обширным фондом рыбохозяйственных водоемов. В 2024 г. научно-исследовательские работы проводились в рамках бюджетной программы 021, подпрограммы 100 «Обеспечение сохранения, воспроизводства и рационального использования ресурсов животного мира» на водоемах местного значения резервного фонда Восточно-Казахстанской области (на озере Когедай и на пруде станции 23 км).

Целью работы являлось дать физико-географическую характеристику и провести гидрохимические исследования, направленные на определение современного гидрохимического состояния исследуемых водоёмов и сравнение полученных показателей с действующими рыбохозяйственными нормативами.

Водоёмы рыбохозяйственного значения играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, устойчивого развития экономики, сохранении биологического разнообразия и поддержании экологического равновесия в природных системах (Власов, 2018:28). Эти водные экосистемы служат основой функционирования

рыбного хозяйства, обеспечивая естественные условия для размножения, нагула и обитания промысловых и непромысловых видов рыб, а также других гидробионтов (Баранов, 2021:218).

Помимо их значения для рыболовства, водоёмы выступают важными источниками пресной воды, используемой в сельском хозяйстве, промышленности, энергетике и бытовом водоснабжении (Кисилев, 2017:48). Они способствуют регулированию водного баланса территории, поддержанию микроклимата, предотвращению деградации ландшафтов и процессов опустынивания (Kovalenko et al., 2020:34-42).

Кроме того, такие водоёмы выполняют существенные экологические функции: способствуют самоочищению вод, накоплению и трансформации органических веществ, участвуют в биогеохимических циклах, а также являются местом обитания, гнездования и кормовой базой для многочисленных видов водных и околоводных животных и растений (Moss, 2010:121-122). Таким образом, водоёмы рыбохозяйственного значения представляют собой не только экономический, но и экологический ресурс, от состояния которого напрямую зависит устойчивое развитие природных и хозяйственных комплексов региона.

Озеро Когедай расположено в пределах Курчумского района Восточно-Казахстанской области, в северо-восточной части Катон-Карагайского природного ландшафтного пояса. Курчумский район граничит на севере с Катон-Карагайским, на западе - с Самарским, на юго-западе - с Тарбагатайским, на юге - с Зайсанским районами Восточно-Казахстанской области, на востоке - с Синьцзян-Уйгурским автономным районом Китая. Водоём относится к бассейну реки Курчум, которая является левым притоком Иртыша. Географические координаты озера составляют приблизительно 48°50' с. ш. и 84°50' в. д. Высота над уровнем моря -около 640-650 м.

Озеро имеет природно-тектоническое происхождение, вероятно, связано с деятельностью древних ледниковых и водно-эрзационных процессов. Берега преимущественно пологие, местами заболоченные, сложены аллювиально-озёрными и делювиальными отложениями. Южная и западная части акватории окаймлены низкими холмами, поросшими разнотравно-злаковыми сообществами.

Площадь озера Когедай составляет 60 га. Максимальная глубина - 3,5 м., средняя глубина - 1,5 м. Максимальная длина озера - 1,56 км., ширина - 450 м. Зарастаемость надводной и подводной растительности 60-70%.

Водоём имеет слабовыраженный сток, подпитывается в основном за счёт атмосферных осадков, родниковых источников и временных талых вод. В летний период наблюдается незначительное понижение уровня воды из-за испарения.

Гидрологический режим озера определяется континентальным климатом региона, характеризующимся холодной продолжительной зимой и тёплым сухим летом. Среднегодовая температура воздуха составляет около +1,5...+2,0 °C, количество осадков -350-400 мм/год, большая часть которых выпадает в тёплый период.

Климат резко континентальный. Средние температуры января - -4-18 °C, июля - 17-22 °C. Среднегодовое количество атмосферных осадков на равнинах - 200-400 мм, в горах - 500-700 мм.

Заморозки заканчиваются в конце мая, возобновляются в конце августа. Снежный покров устанавливается в первой половине ноября, сходит во второй половине апреля. Высота его к концу зимы достигает 90 см.

Пруд станции 23 км расположен на территории городской администрации Усть-Каменогорска. Усть-Каменогорск - крупнейший город на востоке Казахстана, административный центр Восточно-Казахстанской области с 1939 года. Расположен в восточной части Казахстана, в месте впадения реки Ульбы в р. Ертис. Пруд станции 23 км расположен на территории городской администрации Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области, в пределах Прииртышской низкогорной и предгорной зоны. Водоём находится вблизи железнодорожной ветки и автодороги регионального значения, на расстоянии около 23 км к юго-востоку от города. Географические координаты пруда составляют приблизительно 49°80' с. ш. и 83°00' в. д.. Высота над уровнем моря -около

480-490 м.

Пруд имеет искусственное происхождение, создан в результате перегораживания балки (оврага) с целью накопления поверхностного стока и возможного использования для технических или хозяйственных нужд. Площадь водного зеркала составляет около 0,15-0,2 км<sup>2</sup>, средняя глубина -1,0-1,5 м, максимальная -до 2,5 м (по данным экспедиционных наблюдений, 2024 г.).

Питание пруда осуществляется за счёт атмосферных осадков, временных водотоков и подземных ключей, что обуславливает значительные сезонные колебания уровня воды. В весенний период наблюдается его повышение вследствие снеготаяния, к концу лета возможна частичная усадка уровня.

Климат района континентальный, с холодной зимой и жарким, относительно сухим летом. Среднегодовая температура воздуха составляет около +2,5 °C, сумма осадков -280-350 мм в год. Преобладают северо-западные ветры. Холодный период - с ноября по март. Зафиксированный рекордный минимум температуры воздуха в январе -49 °C, в июле +4 °C. Рекордный максимум - +8 °C в январе и +43 °C в июле.

Берега пруда пологие, местами заболоченные, сложены аллювиальными и делювиальными суглинками. Вдоль уреза воды развита прибрежно-водная растительность -камыш обыкновенный (*Phragmites australis*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia*), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica*), осока (*Carex sp.*).

Окрестности водоёма представлены лугово-степными сообществами с участками кустарников и древесной растительности (берёза, ива, тополь). Пруд служит важным элементом местного природного ландшафта, выполняя функции регулятора поверхностного стока, очистителя воды, а также места обитания водоплавающих и околоводных птиц.

Таким образом, пруд станции 23 км представляет собой малый антропогенный водоём, обладающий устойчивыми физико-географическими и гидрохимическими характеристиками, выполняющий экологические и хозяйствственные функции в пределах городской агломерации Усть-Каменогорска.

Результаты данной работы, в совокупности с результатами других проведённых ихтиологических исследований, будут использованы для корректировки Постановления акима Восточно-Казахстанской области «Об утверждении перечня рыбохозяйственных водоёмов местного значения Восточно-Казахстанской области», а также при проведении конкурса по закреплению водоёмов. Объектами исследования являются озеро Когедай и пруд станция 23 км. Данные водоёмы были исследованы впервые.

После проведения комплексных исследований, включая гидрохимические, водоёмы могут быть отнесены к различным категориям: рыбохозяйственные, нерыбохозяйственные, для спортивно-любительского рыболовства, приспособленные для товарного выращивания рыбы либо иных целей хозяйственного использования. Определение статуса каждого из них, после рыбохозяйственного изучения, и последующее их рыбохозяйственное использование может стать значительным резервом для увеличения производства товарной рыбы. Для выполнения программы развития рыбного хозяйства страны, наряду с крупными и средними рыбохозяйственными водоемами, рациональное использование малых водоемов резервного фонда может стать существенным подспорьем в увеличении производства и уловов рыбы.

Состав и свойства воды отражают совокупность физико-географических, геохимических, биологических и климатических факторов, влияющих на формирование водной среды. Гидрохимические показатели - такие как минерализация, водородный показатель (pH), содержание растворённого кислорода, биогенных элементов и органических веществ - являются индикаторами экологического состояния водных объектов. Они позволяют установить тип водоёма, его трофический статус, степень загрязнения и устойчивость экосистемы. Анализ химического состава вод даёт возможность проследить круговорот веществ, интенсивность биогеохимических процессов и степень антропогенной нагрузки. Гидрохимическая оценка особенно важна для регионов с высокой природной изменчивостью и развивающейся экономической деятельностью, таких как Восточный Казахстан, где водоёмы

служат источниками водоснабжения, объектами рыбного хозяйства и биоразнообразия. В этих условиях регулярное наблюдение за химическим составом воды позволяет своевременно выявлять тенденции изменения качества вод, прогнозировать возможные экологические риски и разрабатывать меры по предотвращению деградации водных экосистем.

Растворённый кислород является одним из важнейших показателей экологического состояния водоёма. Он поступает в озёрную систему в результате атмосферной диффузии и фотосинтетической активности водорослей, а расходуется на дыхание организмов и окисление органических и неорганических веществ. Баланс кислорода определяет тип водного режима: аэробный, переходный или анаэробный.

Значение pH отражает соотношение ионов водорода ( $H^+$ ) и гидроксид-ионов ( $OH^-$ ) в воде, что напрямую влияет на растворимость газов, форм элементов (азота, фосфора, железа, марганца), а также на биологическую продуктивность экосистемы (Садчиков и др., 2008:36).

Минерализация является интегральным показателем химического состава природных вод и отражает суммарное содержание растворённых веществ (ионов) в единице объёма воды. Данный параметр формируется в результате сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов: геологического строения водосборной территории, характера подземного питания, испарительного режима, интенсивности водообмена, а также степени биологической и антропогенной трансформации водоёма.

Биогенные соединения представляют собой группу химических веществ, необходимых для поддержания жизнедеятельности водных организмов и функционирования экосистемы в целом. основным биогенным элементом, обеспечивающим продукционные процессы в водоёмах, относятся азот (N), фосфор (P), кремний (Si), а также в меньшей степени -железо (Fe). Азот в воде присутствует в виде минеральных ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ) и органических форм. Он является ключевым компонентом белков, аминокислот и нуклеиновых кислот, а потому играет основополагающую роль в круговороте веществ и развитии биоты. Основными процессами трансформации азота являются нитрификация, денитрификация и фиксация атмосферного азота цианобактериями. Избыток соединений азота, особенно нитратов и аммония, вызывает эвтрофирование водоёма, сопровождающееся массовым развитием водорослей и снижением содержания растворённого кислорода.

**Материалы и методы исследования.** Гидрофизические, гидрохимические исследования и отбор проб воды производились по общепринятым методикам. Пробы отбирались в летний период из поверхностного слоя воды при помощи пробоотборной системы СП-2. Образцы воды отбирались из поверхностного слоя (0-0,5 м) в районах с разной степенью воздействия природных и антропогенных факторов. Отбор проб производился как из поверхностных, так и из придонных горизонтов (в местах с глубинами более 5 м) с помощью стандартной пробоотборной системы СП-2, обеспечивающей сохранение исходного состояния воды до момента анализа.

Измерение содержания растворённого кислорода проводилось непосредственно на месте отбора проб с использованием портативного кислородомера МАРК-302Э, откалиброванного перед каждым выездом в полевые условия. Показатели температуры, электропроводности и pH также регистрировались *in situ*.

Химико-аналитическое определение концентраций биогенных соединений ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ), органического вещества (включая показатели БПК и ХПК), а также расчёты общей минерализации (по сумме основных катионов и анионов) проводились в условиях аккредитованной лаборатории ТОО «Лаборатория-Атмосфера». Применялись методы фотометрии, титриметрии и ионной хроматографии с использованием современного аналитического оборудования, включая спектрофотометры, иономеры и автоанализаторы.

Соответствие результатов анализов рыбохозяйственным нормативам проводилось по нормативному документу Приказ Министра водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан от 4 июня 2025 года № 111-НҚ Об утверждении единой системы классификации качества воды в поверхностных водных объектах и (или) их частях (Министерство водных ресурсов и ирригации РК, 2025).

**Результаты и обсуждения.** Озеро Когедай, находится в Курчумском районе Восточно-Казахстанской области. Входит в состав Курчумского района, космоснимок представлен на рисунке 1. Площадь - 60 га. Максимальная глубина - 3,5 м., средняя глубина - 1,5 м. Длина - 1,56 км., ширина - 450 м. Зарастаемость надводной и подводной растительности 60-70%.

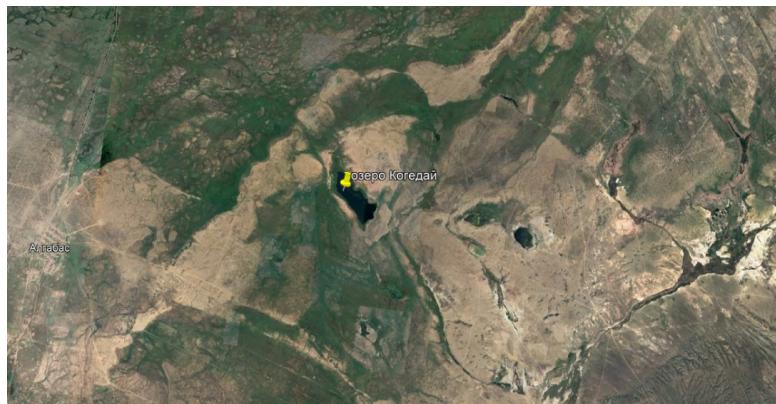


Рисунок 1. Космоснимок озера Көгедай

Площадь пруда станции 23 км составляет 0,83 га. Глубина максимальная - 6 м., средняя глубина - 3 м. Координаты: 49°54'05.78"S 82°43'36.24"E. Длина пруда составляет 174 м, средняя ширина - 51 м. Космоснимок пруда представлен на рисунке 2.

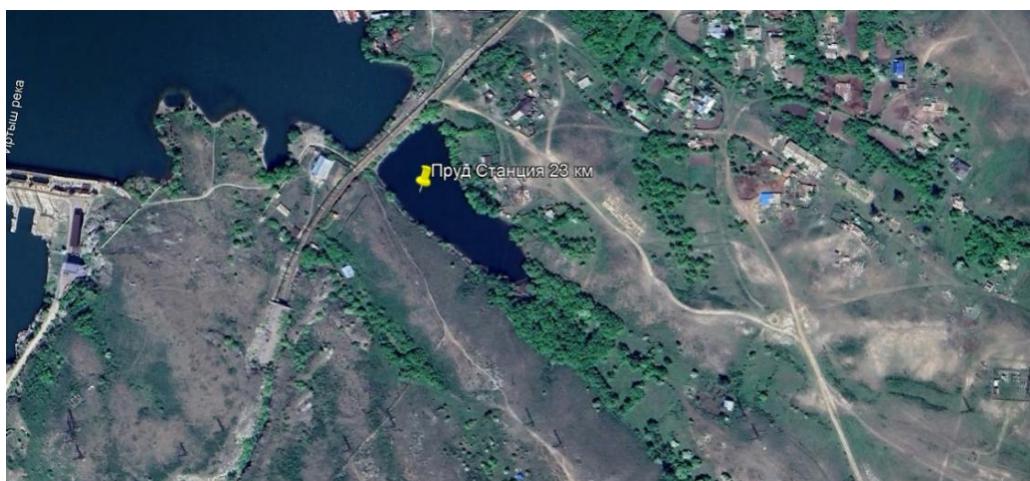


Рисунок 2. Космоснимок Пруда станции 23 км

В таблице 1 представлены морфометрические характеристики и координаты исследуемых водоемов местного значения Восточно-Казахстанской области.

Таблица 1. Морфометрические характеристики и координаты исследуемых водоемов местного значения Восточно-Казахстанской области

Водоем	Координаты	Площадь, га	Макс. длина, км	Макс. ширина, км	Макс. глубина, м	Сред. глубина, м	Объем водоема, м <sup>3</sup>
Озеро Когедай	48°29'19.32"C 83°44'39.85"B	60	1,5	0,6	3	1,5	900000
Пруд станция 23 км	49°54'5.18"C 82°43'33.97"B	0,83	0,17	0,07	6	3	24900

Гидрохимические исследования местных водоемов Восточно-Казахстанской области в 2024 г. проводились в летний период. Образцы природной поверхностной воды были отобраны из озера Когедай и пруда станции 23 км.

Пробы отбирали в поверхностном горизонте литоральной и пелагиальной зоны и исследовали по физико-химическим параметрам, газовому режиму, содержанию органических и биогенных веществ (таблица 2).

Таблица 2. Гидрохимические показатели исследуемых водоемов местного значения Восточно-Казахстанской области в 2024 г.

Зона	pH	Растворенные газы		Биогенные соединения, мг/дм <sup>3</sup>				Органическое вещество, мгО/дм <sup>3</sup>	Минерализация воды, мг/дм <sup>3</sup>		
		CO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>				
			мг/дм <sup>3</sup>								
<b>Озеро Когедай</b>											
литораль	8,26	0,1	6,82	69,9	0,95	0,005	0,56	0,048	5,3	1420	
пелагиаль	8,09	0,1	6,89	69,1	1,05	0,009	0,62	0,049	5,3	1470	
<b>Пруд станция 23 км</b>											
литораль	8,65	0,1	7,18	75,9	< 0,2	0,031	0,13	0,020	2,6	153	
пелагиаль	8,52	0,1	7,21	76,3	< 0,2	0,044	0,15	0,021	2,7	157	

Озеро Когедай. Температура воды в период отбора проб составляла 23,0-25,5 °C. Вода озера не имела вкуса и запаха, цветность воды оценивалась на 5 градусов платино-кобальтовой шкалы. Цветность воды в озере показывает присутствие и концентрацию в ней различных веществ, таких как водоросли, гуминовые и фульвовые кислоты, соединения железа, наличие взвешенных частиц, таких как ил или глинистые частицы. Изменение цвета может указывать на ухудшение качества воды, снижение прозрачности.

Кислород и диоксид углерода являются важнейшими составляющими газов любого водоема (Романова и др., 2024:121). Они участвуют в процессах газообмена между атмосферой и водной толщей, определяют условия протекания окислительно-восстановительных реакций, а также обеспечивают жизнедеятельность гидробионтов. При концентрации ниже 4 мг/л возникает гипоксическое состояние, приводящее к нарушению метаболизма гидробионтов и активации анаэробных процессов, включая сульфатредукцию и метаногенез (Садчиков и др., 2008:68-69). Концентрация растворенного в воде кислорода была в интервале 6,82-6,89 мг/дм<sup>3</sup> и соответствовала установленным для рыбоводческих водоемов нормативам. Содержание углекислого газа влияет на карбонатное равновесие в водоеме.

Водородный показатель (рН) является одним из ключевых интегральных показателей, характеризующих кислотно-щелочной режим водоёма и определяющих направление большинства физико-химических и биогеохимических процессов. По значению рН, которое изменялось от 8,09 до 8,26, воды озера Когедай принадлежат к группе слабощелочных вод.

В слабощелочной среде карбонатное равновесие смещено в сторону преобладания гидрокарбонат-ионов над карбонатами и диоксидом углерода, что можно проследить по полученным данным. По классификации О.А. Алекина озеро Когедай принадлежало гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу.

Показатель перманганатной окисляемости отображает общую концентрацию органических веществ. На окисляемость природных вод влияют разные факторы - кислотность грунтов и почв, органика флоры, метаболизм бактерий, продукты людской деятельности. Сильные окислители поступают в почву и водоемы вместе с поверхностными и подземными стоками, из атмосферных осадков, с производственными и плохо очищенными канализационными сливами. Величина перманганатной окисляемости озера Когедай составила 5,3 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, что обеспечивает принадлежность образцов к категории вод с малой окисляемостью.

Минерализация вод озера находилась в диапазоне 1420-1470 мг/дм<sup>3</sup>, что по классификации соответствует солоноватым водам. Солоноватые озёра представляют собой особый тип континентальных водоёмов, отличающихся повышенным содержанием растворённых минеральных веществ и занимающие промежуточное положение между пресными и солёными (Жилин, 2017:81). Данная минерализация пригодна для обитания гидробионтов, адаптированных к повышенному солевому фону, к примеру карась серебряный или окунь обыкновенный. По величине жесткости, которая составила 55,0-57,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>, воды характеризуются как «очень жесткие».

Азотсодержащие соединения в озере представлены аммонийным азотом, нитритами и нитратами. Соединения азота переходят из одной формы в другую в процессе нитрификации. Их концентрации не превышали установленных нормативов для водоемов рыбохозяйственного значения. Количество фосфатов (0,048-0,049 мг/дм<sup>3</sup>) также не превышало установленные значения.

Пруд станция 23 км. В период отбора проб температура воды составляла 22,5 °С. Содержание растворенного кислорода составляло 7,18-7,21 мг/дм<sup>3</sup>, что считается оптимальным для гидробионтов. Величина pH была равна 7,52-8,65, и обуславливает принадлежность водоема к слабощелочным водам. В соответствии с классификацией вод по жесткости, вода в пруду характеризовалась как «жесткая» - 8,8-8,9 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Минерализация воды была невысокой - 153-157 мг/дм<sup>3</sup>, вода пруда пресная.

Величина перманганатной окисляемости составляла 2,6-2,7 мгО/дм<sup>3</sup>, что классифицируется как «очень малая» окисляемость. Из биогенных веществ пробы были проанализированы на содержание соединений азота, фосфат-ионов (0,02 мг/дм<sup>3</sup>) и общего железа (0,107-0,108 мг/дм<sup>3</sup>). По результатам гидрохимических исследований содержание биогенных соединений не превышало установленных нормативов.

**Заключение.** Проведённые гидрохимические исследования озера Когедай и пруда станции 23 км, расположенных на территории Восточно-Казахстанской области, позволили получить новые данные о современном состоянии водоёмов местного значения.

Анализ физико-химических показателей показал, что исследуемые водоёмы имеют различный тип вод по степени минерализации и химическому составу. Воды озера Когедай относятся к солоноватым гидрокарбонатно-кальциевым, характеризуются повышенной общей минерализацией, высокой жёсткостью и слабощелочной реакцией среды. Такие условия благоприятны для существования гидробионтов, адаптированных к умеренно минерализованной среде. Концентрации растворённого кислорода и биогенных соединений соответствуют рыбохозяйственным нормативам, что указывает на удовлетворительное экологическое состояние озера и его пригодность для дальнейшего использования в рыболовственных целях.

Воды пруда станции 23 км относятся к категории пресных гидрокарбонатно-кальциевых, с низкой минерализацией и слабощелочной реакцией среды. Концентрация растворённого кислорода и низкие значения перманганатной окисляемости свидетельствуют о благоприятных кислородных условиях и невысокой степени органического загрязнения. Содержание соединений азота и фосфора не превышает нормативных значений, что указывает на отсутствие признаков эвтрофирования.

Таким образом, оба водоёма характеризуются удовлетворительным гидрохимическим состоянием, соответствующим требованиям рыбохозяйственных нормативов Республики Казахстан. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения регулярного гидрохимического мониторинга для оценки динамики качества вод и предотвращения возможных негативных изменений в экосистемах.

### Литература

- Баранов, 2021.- Баранов П. В. Современные проблемы экологии рыболово-водоемов. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2021. 218 с. [Russ.]
- Власов, 2018 - Власов А. А., И. Н. Соловьев- Гидроэкологические основы рационального использования водных ресурсов. -Москва: Наука, 2018. -324 с. [Russ.]
- Жилин, 2017 - Жилин А. А. - Гидрохимические процессы в пресных и солоноватых водоёмах. -учебное пособие/А. А. Жилин. Казань:Казанский федеральный университет, 2017. - 215 с. [Russ.]
- Киселёв, 2017 - Киселёв С.М. Ресурсный потенциал внутренних водоёмов Казахстана -Алматы: Қазақ университеті, 2017. 231 с.
- Министерство водных ресурсов и ирригации РК, 2025 -Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. Приказ № 111-НҚ от 4 июня 2025 года «Об утверждении единой системы классификации качества воды в поверхностных водных объектах и (или) их частях». -Астана, 2025. [Russ.]
- Романова, и др., 2024 -С. М. Романова, Е. Г. Крупа, А. С. Серикова, С. Н. Алексеев. Современная гидрохимическая характеристика водных объектов казахстанской части бассейна р. Ертис // Гидрометеорология и экология. -2024. С. 121-130-№ 1 (112). <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-121-132> [Russ.]
- Садчиков, 2008 - Садчиков А. П., Синькович В. Г. Гидрохимия внутренних водоёмов. -Москва : Наука, 2008. -304 с. [Russ.]
- Kovalenko, 2020 - Kovalenko V. V., Petrov I., Smirnova N. Aquatic ecosystems and sustainable management // Environmental Studies Journal. -2020. -Vol. 15, No. 2. -P. 34-42. [Eng.]
- Moss, 2010 -Moss B. Ecology of Fresh Waters: Man and Medium, Past to Future. -Oxford : Wiley-Blackwell, 2010. -557 p. [Eng.]
- Wetzel, 2001 -Wetzel R. G. Limnology: Lake and River Ecosystems. -San Diego : Academic Press, 2001. -1006 p. [Eng.]

### References

- Baranov, (2021) -Baranov P. V. Sovremennye problemy ekologii rybokhoziaistvennykh vodoemov. [Modern problems of ecology of fishery waters] Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 2021. 218 p. [Russ.]
- Vlasov, (2018) -Vlasov A. A.&Solov'ev I. N. Gidroekologicheskie osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniia vodnykh resursov. [Hydroecological foundations of rational use of water resources]. Moscow: Nauka, 2018. 324 p. [Russ.]
- Zhilin, (2017) - Zhilin A. A. Gidrokhimicheskie protsessy v presnykh i solonovatyh vodoemakh.[Hydrochemical processes in fresh and brackish water bodies]. Uchebnoe posobie. Kazan: Kazan Federal University, 2017. 215 p. [Russ.]
- Kiselev, (2017) -Kiselev S. M. Resursnyi potentsial vnutrennikh vodoemov Kazakhstana. [Resource potential of inland water bodies of Kazakhstan] -Almaty: Qazaq University, 2017. 231 p. [Russ.]
- Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, 2025 -Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan. Order No. 111-NQ of June 4, 2025 ``On Approval of the Unified Water Quality Classification System for Surface Water Bodies and (or) Their Parts". Astana, 2025. [Russ.]
- Romanova, (2024) - Romanova S. M., Krupa E. G., Serikova A. S., Alekseev S. N. Sovremennaja hidrohimicheskaja harakteristika vodnyh obektov kazahstanskoj chasti bassejna r. Ertis [Modern hydrochemical characteristics of water bodies in the Kazakh part of the Irtis River basin]// Hydrometeorology and Ecology.2024. No. 1 (112). P. 121-130. [Russ.]
- Sadchikov, 2008 - Sadchikov A. P.&Sin'kevich V. G. Gidrokhimiia vnutrennikh vodoemov [Hydrochemistry of inland waters] Moscow: Nauka, 2008. 304 p. [Russ.]
- Kovalenko, (2020) -Kovalenko V. V., Petrov I., Smirnova N. Aquatic ecosystems and sustainable management //Environmental Studies Journal. 2020. Vol. 15, No. 2. P. 34-42. [Eng.]
- Moss, (2010) -Moss B. Ecology of Fresh Waters: Man and Medium, Past to Future. Oxford : Wiley-Blackwell, 2010. 557 p. [Eng.]
- Wetzel, (2001) -Wetzel R. G. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego:Academic Press, 2001. 1006 p. [Eng.]

## ДИНАМИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2020-2024 ГГ.

<sup>1</sup>**А.М. Касымханов\*** , <sup>1</sup>**Г.С. Крықпаева** , <sup>1</sup>**С.Е. Базаров** , <sup>1</sup>**Д.А. Костюченко** ,  
<sup>2</sup>**М.С. Байжанова** 

<sup>1</sup> Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г.  
Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Международный университет Астана, г. Астана, Республика Казахстан

\*e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz

**А.М. Касымханов** – магистр биологии, директор Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**Г.С. Крықпаева** – докторант, научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: krykraeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**С.Е. Базаров** – магистр естественных наук, начальник экспедиционного отряда Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**Д.А. Костюченко** – магистр, старший научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: kostyuchenko@fishrpc.kz, <https://0000-0002-8356-5845>

**М.С. Байжанова** – докторант Международного университета Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: baizhanova.madi@mail.ru, <https://0000-0002-6022-1820>

**Аннотация.** В настоящей статье представлены результаты исследований гидрохимического и гидрологического режима Усть-Каменогорского водохранилища за последние пять лет. Целью исследования являлась оценка динамики гидрологических и гидрохимических показателей Усть-Каменогорского водохранилища в 2020-2024 гг. для определения тенденций изменения качества воды и условий обитания гидробионтов. Исследования выполнены на основе систематических наблюдений за уровенным режимом и лабораторных анализов проб воды, отобранных в верхней, средней и нижней частях водоёма в весенне-летний периоды. В ходе работы проведены измерения физико-химических параметров (рН, растворённый кислород, СО<sub>2</sub>, органическое вещество, биогенные элементы, минерализация) с применением стандартных гидрохимических методов анализа.

Результаты показали, что среднегодовой уровень воды за пятилетний период изменился незначительно, что отражает стабильный гидрологический режим. Все гидрохимические показатели находились в пределах рыбохозяйственных нормативов. Отмечена тенденция к незначительному повышению содержания кислорода и стабилизации биогенных соединений. Таким образом, установлено, что гидрологический и гидрохимический режимы Усть-Каменогорского водохранилища остаются устойчивыми и обеспечивают благоприятные условия для воспроизводства и обитания водных организмов, что подтверждает его значение как рыбохозяйственного водоёма.

**Ключевые слова:** Усть-Каменогорское водохранилище, гидрологический режим, гидрохимические показатели, качество воды, биогенные вещества, минерализация.

## 2020-2024 ЖЫЛДАРДАҒЫ ӨСКЕМЕН СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНІҢ ДИНАМИКАСЫ

**<sup>1</sup>А.М. Қасымханов\***, **<sup>1</sup>Г.С. Қрықпаева**, **<sup>1</sup>С.Е. Базаров**, **<sup>1</sup>Д.А. Костюченко**, **<sup>2</sup>М.С. Байжанова**

**<sup>1</sup>Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесі, Өскемен қ., Қазақстан**

**<sup>2</sup>Астана халықаралық университетті, Астана қ., Қазақстан**

\*e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz

**А.М. Қасымханов** – биология магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің директоры м.а., Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**Г.С. Қрықпаева** – докторант, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: krukraeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**С.Е. Базаров** – жаратылыштану ғылымдарының магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің экспедициялық жасақ басшысы, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**Д.А. Костюченко** – магистр, «Балық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай филиалының аға ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: kostyuchenko@fishrpc.kz, <https://0000-0002-8356-5845>

**М.С. Байжанова** – Астана халықаралық университеттінің докторанты, Астана қ., Қазақстан., e-mail: baizhanova.madi@mail.ru, <https://0000-0002-6022-1820>

**Аңдатпа.** Бұл мақалада соңғы бес жылдағы Өскемен су қоймасының гидрохимиялық және гидрологиялық режимін зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеудің мақсаты - 2020-2024 жылдар аралығында Өскемен су қоймасының гидрологиялық және гидрохимиялық көрсеткіштерінің динамикасын бағалау, су сапасының өзгеру үрдістері мен гидробионттардың тіршілік ету жағдайларын айқындау болды. Зерттеу жұмыстары су деңгейі режимі бойынша жүйелі бақылаулар мен су қоймасының жоғарғы, орта және төменгі бөліктегінен көктемгі-жазғы кезеңде іріктелген су үлгілерінің зертханалық талдаулары негізінде жүргізді.

Жұмыс барысында стандартты гидрохимиялық талдау әдістерін қолдана отырып, физикалық-химиялық көрсеткіштер (pH, еріген оттегі, CO<sub>2</sub>, органикалық заттар, биогендік заттар, минералдану) анықталды.

Зерттеу нәтижелері бойынша бес жылдық кезең ішінде судың орташа жылдық деңгейі шамалы ғана өзгергені анықталды, бұл су қоймасының гидрологиялық режимінің тұрақтылығын көрсетеді. Барлық көрсеткіштер балық шаруашылығы су айдындарына арналған нормативтерге сәйкес келеді. Оттегі мөлшерінің аздал артуы мен биогендік қосылыстардың тұрақтануы үрдісі байқалды.

Осылайша, Өскемен су қоймасының гидрологиялық және гидрохимиялық режимдері тұрақты болды және гидробионттардың көбеюі мен тіршілігі үшін қолайлы жағдай болды, бұл оның балық шаруашылықтың маңызы бар су айдыны ретіндегі маңыздылығын раставиды.

**Кілт сөздер:** Өскемен су қоймасы, гидрологиялық режим, гидрохимиялық көрсеткіштер, су сапасы, биогендік заттар, минералдану.

## DYNAMICS OF HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL INDICATORS OF THE UST-KAMENOGORSK RESERVOIR IN 2020-2024

**<sup>1</sup>A.M. Kasymkhanov\*, <sup>1</sup>G.S. Krykpaeva, <sup>1</sup>S.E. Bazarov, <sup>1</sup>D.A. Kostyuchenko,  
<sup>2</sup>M.S. Baizhanova**

**<sup>1</sup>Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan**

**<sup>2</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan**

**\*e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz**

**A.M. Kasymkhanov** – master of Biology, Director of the Altai Branch of the Scientific and Production Center for Fisheries LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

**G.S. Krykpaeva** – doctoral Student, Researcher at the Altai Branch of the Scientific and Production Center for Fisheries, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

**S.E. Bazarov** – master of Natural Sciences, Head of the Expeditionary Team, Altai Branch of the Scientific and Production Center for Fisheries LLP, Oskemen, Kazakhstan., e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

**D.A. Kostyuchenko** – master of Science, Senior Researcher at the Altai Branch of the Scientific and Production Center for Fisheries LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: kostyuchenko@fishrpc.kz, <https://0000-0002-8356-5845>

**M.S. Baizhanova** – doctoral Student, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: baizhanova.madi@mail.ru, <https://0000-0002-6022-1820>

**Abstract.** This article presents the results of studies on the hydrochemical and hydrological regime of the Ust-Kamenogorsk Reservoir over the past five years. The aim of the study was to assess the dynamics of hydrological and hydrochemical indicators of the Ust-Kamenogorsk Reservoir during 2020-2024 in order to identify trends in water quality changes and habitat conditions for hydrobiotics. The research was based on systematic observations of water level fluctuations and laboratory analyses of water samples collected from the upper, middle, and lower parts of the reservoir during the spring-summer seasons. The study included measurements of physicochemical parameters (pH, dissolved oxygen, CO<sub>2</sub>, organic matter, biogenic elements, and mineralization) using standard hydrochemical analytical methods.

The results showed that the average annual water level varied slightly over the five-year period, indicating a stable hydrological regime. All parameters complied with the fishery water quality standards. A slight increase in oxygen content and stabilization of biogenic compounds was observed. Thus, it was established that the hydrological and hydrochemical regimes of the Ust-Kamenogorsk Reservoir remain stable, providing favorable conditions for the reproduction and habitation of aquatic organisms, confirming its importance as a fishery water body.

**Keywords:** Ust-Kamenogorsk Reservoir, hydrological regime, hydrochemical indicators, water quality, biogenic substances, mineralization.

**Введение.** Водные ресурсы являются одним из ключевых факторов устойчивого социально-экономического развития регионов, определяя возможности их водообеспечения, энергетического потенциала и экологического благополучия. Состояние поверхностных водоемов, в частности крупных водохранилищ, во многом определяет качество водных экосистем и условия существования гидробионтов. В современных условиях возрастающего антропогенного воздействия и изменения климатических факторов вопросы мониторинга гидрологических и гидрохимических показателей приобретают особую актуальность.

Особое место в гидрологической системе Восточного Казахстана занимает Усть-Каменогорское водохранилище, созданное в 1952 году в связи со строительством одноимённой гидроэлектростанции на реке Ертис (Букатов и др., 2005:21). Водохранилище выполняет комплексные функции – энергетическую, водохозяйственную, транспортную

и рыбохозяйственную, обеспечивая значительную часть потребностей региона в водных ресурсах. Однако, как и большинство регулируемых водоёмов, оно подвержено воздействию колебаний стока, изменению гидродинамических характеристик и сезонной трансформации химического состава воды.

Гидрологический режим Усть-Каменогорского водохранилища определяется деятельностью двух гидроэлектростанций - Бухтарминской и Усть-Каменогорской ГЭС. Суточно-недельное регулирование стока приводит к частым колебаниям уровня воды (до 1-1,5 м), что негативно отражается на прибрежных экосистемах и процессах естественного воспроизводства рыб. Такие колебания способствуют обсыханию икры, изменению литоральной зоны и создают неустойчивые условия обитания гидробионтов.

Наряду с гидрологическими процессами важное значение имеет оценка гидрохимических характеристик водохранилища, так как химический состав воды определяет её пригодность для рыбохозяйственных целей и служит индикатором экологического состояния водной экосистемы. Известно, что параметры, такие как содержание растворённого кислорода, уровень pH, концентрации биогенных веществ (соединений азота и фосфора), органического вещества и общая минерализация, отражают степень антропогенной нагрузки и интенсивность биологических процессов в водоёме (Рижанашвили, 2008:90-91). По данным многочисленных исследований, динамика указанных показателей может служить надёжным критерием устойчивости водных экосистем и основой для выработки мер по их охране и рациональному использованию.

Усть-Каменогорское водохранилище отличается высокой проточностью и коротким временем полного водообмена (в среднем 10-12 суток), что предопределяет высокую динамичность физико-химических процессов и относительную устойчивость гидрохимического режима. Вместе с тем, изменчивость гидрологического режима под влиянием работы гидроузлов, сезонных притоков и климатических условий требует регулярного анализа параметров водной среды для оценки тенденций её трансформации.

Целью данного исследования является оценка динамики гидрологических и гидрохимических показателей Усть-Каменогорского водохранилища в 2020-2024 гг. для определения тенденций изменения качества воды и условий обитания гидробионтов.

В задачи исследования входили анализ изменений уровня режима водохранилища за пятилетний период; определение сезонных и пространственных вариаций физико-химических параметров воды; оценка соответствия полученных данных действующим рыбохозяйственным нормативам; выявление общих тенденций гидрохимической стабильности и экологической устойчивости водной экосистемы.

В 2024 г. научно-исследовательские работы на Усть-Каменогорском водохранилище проводились в рамках бюджетной программы 021, подпрограммы 100 «Обеспечение сохранения, воспроизводства и рационального использования ресурсов животного мира».

**Материалы и методы исследования.** Первичные данные по гидрологическому режиму Усть-Каменогорского водохранилища были предоставлены филиалом РГП «Казгидромет» по Восточно-Казахстанской области для проведения анализа его динамики. Гидрофизические, гидрохимические исследования и отбор проб воды производились по общепринятым методикам.

Гидрохимические исследования Усть-Каменогорского водохранилища в 2024 г. проводили в весенне-летний период, образцы природной воды отбирали из поверхностного слоя и проводили определение физико-химических параметров, газового режима, биогенного состава, а также определяли соотношение основных ионов. Пробы воды отбирали на следующих станциях: верхняя часть - ст. Серебрянск; средняя часть - Таловский и Масьяновский заливы, нижняя часть - залив Никольский.

Пробы воды отбирались в весенне-летний период из поверхностного слоя воды при помощи пробоотборной системы СП-2. Образцы воды отбирались из поверхностного слоя (0,2 м) на 4-х станциях водохранилища.

Измерение содержания растворённого кислорода проводилось непосредственно на

месте отбора проб с использованием портативного кислородомера МАРК-302.

Биогенные соединения ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), органические вещества, общая минерализация и другие показатели проводились в аккредитованной лаборатории ТОО «Лаборатория-Атмосфера». Применялись методы фотометрии, титриметрии и ионной хроматографии с использованием современного аналитического оборудования, включая спектрофотометры, иономеры и автоанализаторы.

Соответствие результатов анализов рыбохозяйственным нормативам проводилось по нормативному документу Приказ Министра водных ресурсов и ирrigации Республики Казахстан от 4 июня 2025 года № 111-НҚ Об утверждении единой системы классификации качества воды в поверхностных водных объектах и (или) их частях (Министерство водных ресурсов и ирrigации РК, 2025).

**Результаты и обсуждения.** Усть-Каменогорское водохранилище создано в 1952 году в целях развития энергетики, водного транспорта и водоснабжения. Водохранилище образовано водоподпорными сооружениями Усть-Каменогорского гидроузла. Створ плотины находится в 4 км от пос. Аблакетка выше по течению реки Ертис. Водохранилище расположено в Уланском районе и районе Алтай Восточно-Казахстанской области. Водоем занимает межгорную долину каньонного типа протяженностью 71 км, площадью 37 км<sup>2</sup>, объемом 0,65 км<sup>3</sup>. Ширина водоема 400-750 м, наибольшая ширина 1200 м. Водохранилище глубоководное, средняя глубина при полном проектном наполнении составляет 17 м. Глубины в продольном направлении затопленного русла нарастают от 6 м в зоне подпора до 46 м у плотины.

По своей конфигурации водохранилище мало чем отличается от расширенного русла бытового Ертиса. Берега водоема сложены скальными породами, обрывистые, литораль в водохранилище почти полностью отсутствует. Дно водоема каменисто-галечниковое, с вкраплениями песчано-иловых отложений, встречаются обширные участки с крупными валунами. Регулирование стока водохранилища недельно-суточное. Уровень водохранилища определяется режимом работы двух ГЭС (Бухтарминской ГЭС и Усть-Каменогорской ГЭС), вследствие чего он часто непредсказуем и неустойчив, даже в течение одних суток, в отдельных случаях его колебания достигают 1,0-1,5 м.

Усть-Каменогорское водохранилище характеризуется большой проточностью с крайне неустойчивым обменом водных масс. Расход воды в весенний период нередко превышает 2000 м<sup>3</sup>/с. При таком обмене для полной смены воды требуется не более 4-5 суток, в бытовом режиме работы Усть-Каменогорской ГЭС он составляет 10-12 суток. Максимальная расчетная высота ветровых волн на водохранилище равна 2,2 м.

Уровенный режим Усть-Каменогорского водохранилища является полностью искусственно регулируемым, и определяется режимом работы Бухтарминской и Усть-Каменогорской ГЭС, вследствие чего он часто непредсказуем и неустойчив, даже в течение одних суток, в отдельных случаях его колебания достигают 1,0 м (рисунок 1). С 00 часов до 06 часов идет падение уровня водохранилища на 0,2-1,0 м, так как режим работы 2-х ГЭС различный, с 06 до 24 часов идет накопление воды. Особенно пагубно такой режим сработки водоема воздействует на воспроизводство рыб, поскольку большая часть отложенной икры обсыхает и погибает.

Научно-исследовательские работы в Усть-Каменогорском водохранилище велись в 2020-2024 гг. Среднегодовые параметры уровня воды в водохранилище мало изменяются по годам, например, в 2020 г. - 327,27 мБС, в 2021 г. - 327,23 мБС, в 2022 г. - 327,19 мБС, в 2023 году - 327,15 мБС, а за 9 месяцев 2024 г. среднее значение составило 327,21 мБС (рисунок 1).

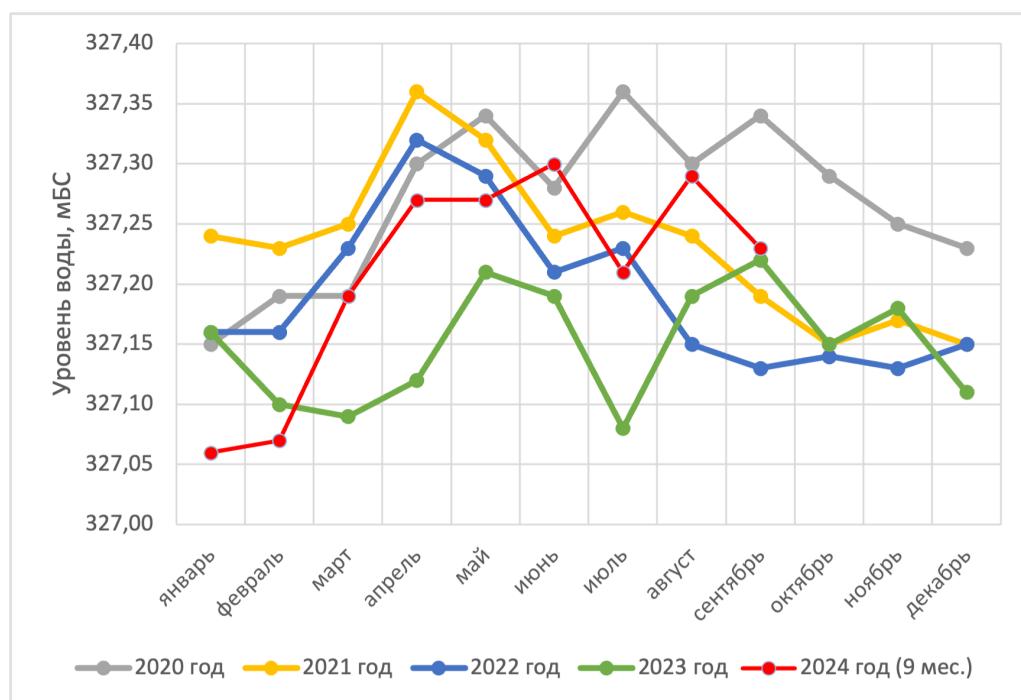


Рисунок 1. Динамика хода гидрологического уровня воды Усть-Каменогорского водохранилища за 2020-2024 годы (по среднемесячным данным)

В 2020 году подъем уровня водохранилища начался во второй декаде апреля при отметке 327,32 мБС, а в конце месяца уровень воды составил 327,31 мБС. Максимальное значение уровня воды, для весеннего периода, было зарегистрировано в первой декаде мая - 327,41 мБС. Во второй декаде мая 2020 года снижается среднесуточный сброс воды. Максимальные показатели для апреля были зарегистрированы во второй декаде апреля ( $732 \text{ м}^3/\text{с}$ ), сброс воды в третьей декаде составил  $631 \text{ м}^3/\text{с}$  при уровне воды 327,31 мБС. К концу первый декады июня на Усть-Каменогорском водохранилище установился стабильный гидрологический режим.

В 2021 году подъем уровня водохранилища начался также как и в 2019-2020 годах во второй декаде апреля при отметке 327,31 мБС, а в конце месяца уровень воды составил 327,43 мБС, являющийся максимальным показателем в весенний период. Во второй декаде мая 2021 года снижается среднесуточный сброс воды, составляющий показатель равный 327,26 мБС. Максимальные показатели расхода воды апреля месяца были зарегистрированы во второй декаде апреля ( $745 \text{ м}^3/\text{с}$ ), сброс воды в третьей декаде составил  $629 \text{ м}^3/\text{с}$  при уровне воды 327,43 мБС. К концу первый декады июня на Усть-Каменогорском водохранилище установился стабильный гидрологический режим.

В 2022 году подъем уровня водохранилища начался также как и в 2018-2021 годах во второй декаде апреля при отметке 327,70 мБС, а в конце месяца уровень воды составил 327,29 мБС, являющийся максимальным показателем в весенний период. Во второй декаде мая 2021 года снижается среднесуточный сброс воды, составляющий показатель равный 327,24 мБС. К концу первый декады июня на Усть-Каменогорском водохранилище установился стабильный гидрологический режим. Среднегодовой уровень воды по среднемесячным данным 2022 года для Усть-Каменогорского водохранилища составил 327,19 мБС.

В 2023 году максимальное среднесуточное значение гидрологического уровня приходилось на 6 августа (327,54 мБС), минимальное на 16 июня (326,81 мБС). Максимальный среднемесячный гидрологический уровень приходился на сентябрь, составляя 327,22 мБС, а минимальный среднемесячный гидрологический уровень приходился на июль месяц равный 327,08 мБС. Среднегодовой уровень воды по среднемесячным данным 2023 года для Усть-Каменогорского водохранилища составил 327,15 мБС.

За 9 месяцев 2024 года наблюдаются небольшие колебания уровня с общей тенденцией к росту, с максимальным значением 29 мая (327,62 мБС) и минимальным 11 января (326,85 мБС).

Среднемесячный уровень достигает максимума в июне (327,3 м БС) и минимален в январе (327,06 мБС). Средний уровень за 9 месяцев 2024 года составил 327,21 мБС, близко к значениям 2021-2022 годов и на 0,06 м выше значения 2023 г., что свидетельствует о небольшой тенденции к росту.

В Усть-Каменогорское водохранилище расположено ниже плотины Бухтарминской ГЭС и образовано плотиной Усть-Каменогорской ГЭС. В него впадают реки - Гусельничиха, Таловка, Таинты, Огневка, Каменушка, Малодьяконка, Крутая Речка, Березовка, Масьяновка, Большая Феклистовка, Малая Феклистовка, Пихтовка, Серебрянка, Северная, Крестовка, Смолянка, а также ряд горных ручьев (Никольский, Чахлов, Сорокин Лог, Шумный, Тесный, Тульский, Киселев, Дедушкин, Беликайкин и т.д.).

Объем притока в Усть-Каменогорское водохранилище из водохранилища Буктырма, за 9 месяцев 2024 г. составил 14,17 км<sup>3</sup>. Суммарный объем стока из Усть-Каменогорского водохранилища в реку Ертис за 9 месяцев составил 14,80 км<sup>3</sup> при среднем расходе воды 616,11 м<sup>3</sup>/сек. и среднемесячных объемах 1,62 км<sup>3</sup>.

На притоках отсутствуют гидропосты, в связи с этим получить гидрологические данные и описать объем их стока не является возможным. Однако, известные значения прихода воды из водохранилища Буктырма и расход в реку Ертис, можно рассчитать разницу, которая составит 0,63 км<sup>3</sup>. Часть этого объема приходится на притоки Усть-Каменогорского водохранилища без учета испарения и водоотведения.

За 9 месяцев 2024 г. минимальные показатели месячного объема стока зафиксированы в феврале, где значение составило 1,38 км<sup>3</sup> при среднемесячном расходе 552,48 м<sup>3</sup>/сек. (рисунок 2). Самые высокие показатели отмечены в мае (1,86 км<sup>3</sup>) при среднемесячном расходе 693,65 м<sup>3</sup>/сек.

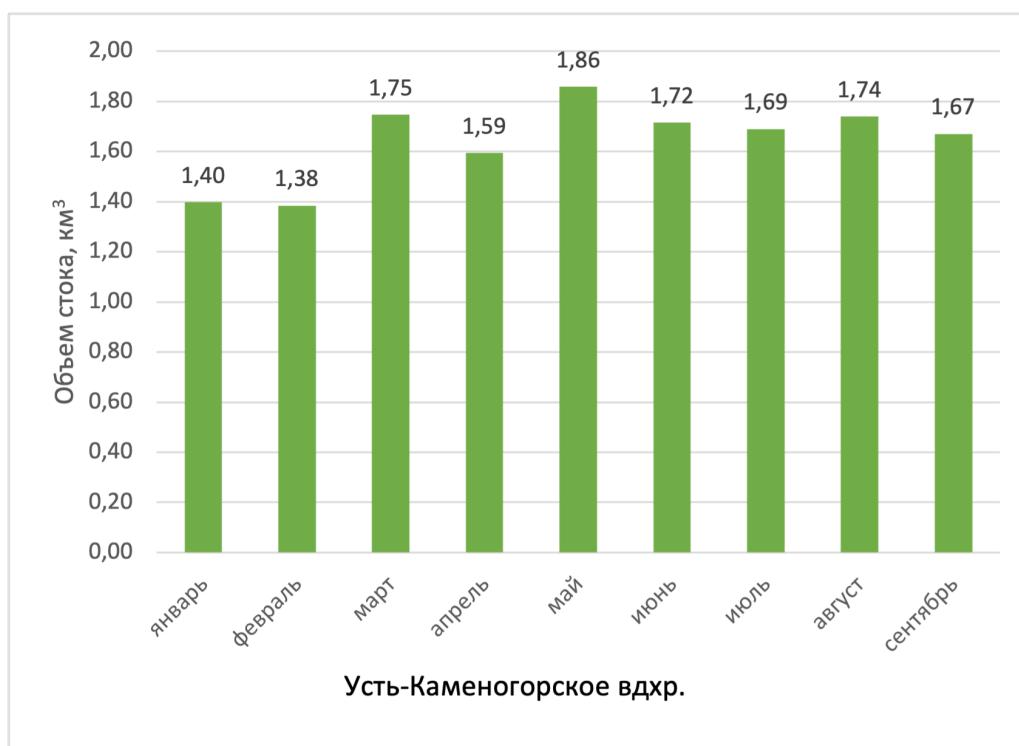


Рисунок 2. Объем стока Усть-Каменогорского водохранилища по месячным данным в 2024 году (за 9 месяцев)

Изучение химического состава водоёмов является одним из приоритетных направлений гидрохимии и водной экологии, так как химические параметры напрямую влияют на функционирование водных экосистем и могут служить надёжными индикаторами их состояния (Кузнецов, 2010:36; Жуков, 2004:154).

Гидрохимические исследования Усть-Каменогорского водохранилища в 2024 г.

проводили в весенне-летний период, образцы природной воды отбирали из поверхностного слоя и проводили определение физико-химических параметров, газового режима, биогенного состава, а также определяли соотношение основных ионов. Пробы воды отбирали на следующих станциях: верхняя часть - ст. Серебрянск; средняя часть - Таловский и Масьяновский заливы, нижняя часть - залив Никольский.

В весенний период температура воды колебалась от 8,5 до 9,4 °С. Минимальное значение температуры наблюдалось на Никольском заливе, а максимальное - в верхней части водохранилища на станции Серебрянск. В летний период температура поверхностного слоя воды находилась в диапазонах 12,5 - 14,0 °С.

Результаты гидрохимических показателей представлены в сравнительном аспекте не только по станциям и сезонам текущего года, но и за последние пять лет с 2020 по 2024 гг. Итоговые данные приведены в виде средних значений и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Динамика средних значений основных гидрохимических показателей Усть-Каменогорского водохранилища в период 2020-2024 гг.

Год исследований	рН	Растворенные газы		Биогенные соединения, мг/дм <sup>3</sup>				Органическое вещество, мгО/дм <sup>3</sup>	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>
		CO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>		
<b>верхняя часть</b>									
2024	7,72	0,10	9,42	88,7	0,30	0,03	1,40	0,03	3,2
2023	7,15	0,10	8,51	87,0	0,31	0,05	1,49	0,04	3,3
2022	7,99	0,10	9,69	94,0	0,36	0,03	1,43	0,03	3,1
2021	8,30	0,09	10,20	102,5	0,35	0,02	1,71	0,09	3,3
2020	8,34	0,12	8,90	92,3	0,31	0,04	0,13	0,08	3,3
<b>средняя часть</b>									
2024	7,46	0,10	9,71	90,9	0,52	0,06	1,32	0,03	3,2
2023	7,06	0,10	9,90	89,5	0,28	0,03	1,41	0,03	3,2
2022	8,23	0,10	10,75	108,2	0,10	0,02	1,23	0,03	2,8
2021	8,30	0,16	8,70	90,2	0,45	0,05	2,14	0,07	2,8
2020	8,34	0,11	8,64	88,5	0,38	0,04	0,14	0,07	2,5
<b>нижняя часть</b>									
2024	7,73	0,10	9,78	90,7	0,29	0,03	1,39	0,03	3,2
2023	7,27	0,10	8,55	85,8	0,35	0,04	1,35	0,03	2,3
2022	8,07	0,10	8,84	87,5	0,45	0,04	1,26	0,04	2,7
2021	8,30	0,12	9,30	96,4	0,33	0,06	1,89	0,06	3,1
2020	8,34	0,12	9,04	89,2	0,30	0,03	0,13	0,07	2,4
<b>Усть-Каменогорское водохранилище (в целом)</b>									
2024	7,59	0,10	9,65	90,3	0,41	0,05	1,36	0,03	3,2
2023	7,16	0,10	8,99	87,4	0,31	0,04	1,42	0,03	2,9
2022	8,09	0,10	9,76	96,6	0,30	0,03	1,30	0,03	2,9
2021	8,30	0,12	9,40	96,4	0,37	0,04	1,91	0,07	3,1
2020	8,31	0,12	8,84	90,0	0,33	0,03	0,13	0,07	2,7

Значения водородного показателя в весенний период находились в пределах 6,50 - 8,68, что позволило оценить поверхностные воды Усть-Каменогорское водохранилище как «нейтральные-слабощелочные» по водородному показателю. Наименьшие величины рН наблюдаются в средней части водоема, а наибольшие - в нижней части. В летний период отмечено повышение значений водородного показателя до 8,04 - 8,68. Водородный показатель достаточно стабилен по всей акватории водоема и не выходят за рамки рыбохозяйственных норм (таблица 1). В период 2020 - 2022 гг значения водородного показателя соответствовали

группе «вода слабощелочная». С 2020 по 2023 гг. величина pH уменьшалась и наблюдалось смещение реакции водной среды в сторону нейтральной. Среднее значение pH в 2024 г. составило 7,59, что соответствует группе «вода слабощелочная».

Кислород поступает в воду за счёт атмосферной диффузии и фотосинтетической активности водных растений, а расходуется в процессе дыхания и разложения органики (Chapra S.C., 2008:68). Содержание растворенного кислорода весной по всему водохранилищу варьировало в пределах 10,3-11,6 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальное значение отмечалось на станции Серебрянск, а максимальная концентрация была зафиксирована в Масьяновском заливе. В летний период содержание растворенного кислорода по всей акватории имело близкие значения и находилось в интервале от 8,21 мг/дм<sup>3</sup> (залив Таловский), при насыщении 84,3% до 8,96 мг/дм<sup>3</sup> (залив Никольский) при насыщении 90,7 %. В текущем году кислородный режим водоема можно считать благоприятным для гидробионтов. В период 2020 - 2024 гг. отмечается тенденция к увеличению содержания растворенного кислорода в поверхностных водах Усть-Каменогорского водохранилища. В 2024 году среднее содержание растворенного кислорода увеличилось на 7 % по сравнению с 2023 годом, на 3% по сравнению с 2021 годом и на 8 % по сравнению с 2020 годом. В течение всего периода наблюдений концентрации растворённого кислорода находились в пределах нормативов для рыбохозяйственных водоёмов (не ниже 6,0 мг/дм<sup>3</sup>), что указывает на отсутствие кислородного дефицита и благоприятные условия для гидробионтов (Министерство водных ресурсов и ирrigации РК, 2025).

Содержание углекислого газа в воде незначительное и составляет 0,10 мг/дм<sup>3</sup> в среднем по всей акватории водохранилища. Следует отметить, что концентрация органического вещества тесно связана с содержанием биогенных соединений (азота и фосфора), поскольку органические вещества служат источником для микробиологической минерализации и образования аммонийных и нитратных форм азота (Wetzel, 2001:79; Сладкова, 2020:53). Содержание органического вещества в текущем году практически не отличается от результатов прошлых пяти лет. В весенний период значения колебались от 3,1 мгО/дм<sup>3</sup> до 3,2 мгО/дм<sup>3</sup>. Минимальное содержание зафиксировано в заливе Таловском, а максимальное - в заливе Никольский. В летний период показатели по содержанию органического вещества на всех станциях исследования близки по своим значениям к показателям органического вещества за весенний период, за исключением залива Таловский, где значения перманганатной окисляемости были равны 3,5 мгО/дм<sup>3</sup>. По величине перманганатной окисляемости поверхностные воды Усть-Каменогорского водохранилища характеризуются «очень малой окисляемостью».

Содержание биогенных веществ в воде Усть-Каменогорского водохранилища на протяжении последних пяти лет характеризуется концентрациями, которые не превышают нормативных значений и достаточно стабильны как в пространстве, так и во времени.

Содержание азота аммонийного в 2024 году находилось в интервале от < 0,20 мг/дм<sup>3</sup> (летом в верхней, средней (Масьяновский залив) и нижней частях водохранилища) до 1,2 мг/дм<sup>3</sup> (летом в средней части водохранилища (Таловский залив)). Концентрация нитритов изменялась в узком диапазоне и в среднем составила 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитрат-ионов изменялась от 0,026 до 0,148 мг/дм<sup>3</sup>. На станции Серебрянск наблюдалось минимальное содержание, а максимальная концентрация была отмечена в Таловском заливе. Содержание нитратов весной варьировало от 1,18 мг/дм<sup>3</sup> до 1,42 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание фосфат-ионов и железа общего составило 0,03 мг/дм<sup>3</sup> и 0,12 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Значительных вариаций концентраций биогенных соединений по годам исследований не наблюдалось.

В последние пять лет жесткость поверхностных вод вдхр. Усть-Каменогорского по годам изменяется значительно. Если в 2020 - 2021 гг вода классифицировалась как «умеренно жесткая», то в 2022 году значение жесткости снизилось в 1,8 раза и составило 2,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> (вода мягкая). В 2023 году значение жесткости увеличилось до 8,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>. В 2024 году значение жесткости пошло на снижение и составило 7,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> (вода жесткая). Весной жесткость воды по водохранилищу в среднем составила 6,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>, что классифицируется как «жесткая» вода. В летнее время показатель жесткости воды в среднем составил 8,9

мг-экв/дм<sup>3</sup>, что также классифицируется как «жесткая» вода.

Значение минерализации в весенний период варьировало от 108 мг/дм<sup>3</sup> до 120 мг/дм<sup>3</sup>. Наименьшая величина минерализации зарегистрирована на станции Серебрянск, а наибольшее значение наблюдалось в Таловском заливе. По показателям минерализации поверхностные воды вдхр. Усть-Каменогорское относятся к категории «пресные». В летний период значение минерализации варьировало от 100 мг/дм<sup>3</sup> до 168 мг/дм<sup>3</sup>. Наименьшая величина минерализации зарегистрирована на станции Серебрянск, а наибольшее значение наблюдалось в Таловском заливе. За пятилетний период исследований минимальные показатели минерализации были зафиксированы 2020 году. В 2021 году наблюдалось резкое повышение минерализации на 30% до среднего значения 156 мг/дм<sup>3</sup>, а затем произошло снижение минерализации 2022-2023 гг., которое в текущем году составило 116 мг/дм<sup>3</sup>. Несмотря на значительную вариацию показателей минерализации по годам, поверхностные воды Усть-Каменогорского водохранилища классифицируются как «пресные».

Соотношение основных ионов в поверхностных водах Усть-Каменогорского водохранилища в течение пяти последних лет не изменяется. Из анионов доминируют гидрокарбонаты, содержание которых весной изменялось от 79,3 мг/дм<sup>3</sup> до 91,5 мг/дм<sup>3</sup> и летом от 79,3 мг/дм<sup>3</sup> до 164,7 мг/дм<sup>3</sup> в летний период. Из катионов по содержанию доминировали ионы кальция, концентрация которых колебалась в интервале 43-46 мг/дм<sup>3</sup> весной и 47 - 70 мг/дм<sup>3</sup> летом. Вода Усть-Каменогорского водохранилища по классификации О.А. Алекина принадлежит к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу.

**Заключение.** Усть-Каменогорское водохранилище является ярким примером воздействия гидрологического режима на объем рыбных запасов. Особенности водоема - значительный водообмен, холодноводность, почти полное отсутствие литорали - делают его малопригодным для создания высокочисленного ихтиофаунистического комплекса.

В текущем году гидрологический режим Усть-Каменогорского водохранилища характеризовался незначительными колебаниями уровня воды при общей тенденции к повышению. Средний уровень составил 327,21 м БС, что несколько выше показателей предыдущего года. Баланс водных ресурсов оставался стабильным: объем притока из Бухтарминского водохранилища (14,17 км<sup>3</sup>) сопоставим с объемом стока в реку Ертис (14,80 км<sup>3</sup>), что указывает на устойчивость водного режима водоёма в рассматриваемый период.

Таким образом, по результатам проведенных гидрохимических исследований установлено, что в 2024 году поверхностные воды Усть-Каменогорского водохранилища характеризуются благоприятным кислородным режимом, нейтральной реакцией среды, очень малой окисляемостью. Содержание биогенных соединений не превышает установленных нормативов, что позволяет сделать вывод о пригодности водохранилища в качестве рыбохозяйственного водоема и благоприятного для обитания гидробионтов.

Результаты исследования имеют практическое значение для рационального управления водными ресурсами, поддержания экологического равновесия и сохранения биологического разнообразия Усть-Каменогорского водохранилища, являющегося одним из важнейших рыболовецких водоёмов Восточного Казахстана.

#### Литература

- Баранов, 2021 - Баранов П. В. Современные проблемы экологии рыбохозяйственных водоёмов.-Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2021.-218 с. [Russ.]
- Букатов, и др., 2005 - Букатов В. А., Гончаренко Н. И., Гончаренко В. П. Водно-энергетические ресурсы Восточного Казахстана.-Алматы: Фылым, 2005.-320 с. [Russ.]
- Жуков, Кузьменко, 2004 - Жуков А. А., Кузьменко М. А. Гидрохимия внутренних водоёмов.-Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2004.-256 с. [Russ.]
- Кузнецов, 2010 - Кузнецов С. И. Гидрохимия: учебное пособие.-Москва: Академия, 2010.-224 с. [Russ.]
- Мирошниченко и др., 2018 - Мирошниченко И. Н. и др. Экологические проблемы водохранилищ Иртышского каскада.-Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2018.-180 с. [Russ.]
- Приказ, 2025 - Приказ Министра водных ресурсов и ирrigации Республики Казахстан «Об утверждении единой системы классификации качества воды в поверхностных водных объектах и (или) их частях» от 4 июня 2025 года № 111-НҚ.-URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111> (дата обращения: 16.09.2025). [Russ.]

- Рижинашвили, 2008 - Рижинашвили А. Л. Показатели содержания органических веществ и компоненты карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия // Вестник СПбГУ. Серия 4. Физика. Химия.-2008.-№ 4.-С. 95-102. [Russ.]
- Сладкова, Токтасынова, 2020 - Сладкова Е. А., Токтасынова А. Б. Эвтрофикация и кислородный режим озёр Казахстана // Вестник КазНУ. Серия экологическая.-2020.-№ 2(73).-С. 52-60. [Russ.]
- Chapra, 2008 - Chapra S. C. Surface Water-Quality Modeling.-Long Grove: Waveland Press, 2008.-844 p. [Eng.]
- Wetzel, 2001 - Wetzel R. G. Limnology: Lake and River Ecosystems.-San Diego: Academic Press, 2001.-1006 p. [Eng.]

### References

- Baranov, 2021-Baranov P. V. Sovremennye problemy ekologii rybokhoziaistvennykh vodoemov.[Modern problems of ecology of fishery waters]-Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 2021.-218 p. [Russ.]
- Bukatov, et.al., 2005-Bukatov V. A., Goncharenko N. I., Goncharenko V. P. Vodno-energeticheskie resursy Vostochnogo Kazakhstana [Water and energy resources of Kazakhstan] -Almaty: Gylym, 2005.-320 p. [Russ.]
- Zhukov&Kuzmenko, 2004-Zhukov A. A., Kuzmenko M. A. Gidrokhimiya vnutrennikh vodoemov.[Hydrochemistry of water bodies]-Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 2004.-256 p. [Russ.]
- Kuznetsov, 2010-Kuznetsov S. I. Gidrokhimiya [Hydrochemistry]: uchebnoe posobie.-Moscow: Akademiya, 2010.-224 p. [Russ.]
- Miroshnichenko et al., 2018-Miroshnichenko I. N. et al. Ekologicheskie problemy vodokhranilishch Irtyshskogo kaskada [Environmental problems of the Irtysh cascade reservoirs].-Ust-Kamenogorsk: VKGTU, 2018.-180 p. [Russ.]
- Order, 2025-Order of the Minister of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan "On approval of the unified system for classification of water quality in surface water bodies and (or) their parts" dated June 4, 2025 No. 111-NQ.-URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111> (accessed:16.09.2025). [Russ.]
- Rizhinashvili, 2008-Rizhinashvili A. L. Pokazateli soderzhaniya organiceskikh veshhestv i komponenty karbonatnoj sistemy v prirodyh vodah v usloviyah intensivnogo antropogenного vozdejstviya [Indicators of organic matter content and components of the carbonate system in natural waters under intensive anthropogenic impact]// Vestnik of Saint Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry.-2008.-No. 4.-P. 95-102. [Russ.]
- Sladkova&Toktasynova, 2020-Sladkova E. A., Toktasynova A. B. Evtrofikaciya i kislorodnyj rezhim ozyor Kazahstanu [Eutrophication and oxygen regime of lakes in Kazakhstan] // Vestnik KazNU. Ecological Series.-2020.-No. 2(73).-P. 52-60. [Russ.]
- Chapra, 2008-Chapra S. C. Surface Water-Quality Modeling.-Long Grove: Waveland Press, 2008.-844 p. [Eng.]
- Wetzel, 2001-Wetzel R. G. Limnology: Lake and River Ecosystems.-San Diego: Academic Press, 2001.-1006 p. [Eng.]

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MONOTERPENE COMPOUNDS

<sup>1</sup>**A.B. Syzdykova\*** , <sup>1</sup>**G.K. Matniyazova** , <sup>1</sup>**A.A. Avezova** , <sup>1</sup>**N.S. Auezova** 

<sup>1</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan

\*e-mail: ailina\_syzdykova@aiu.edu.kz

**A.B. Syzdykova** – master of Nature Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ailina\_syzdykova@aiu.edu.kz, <https://0000-0002-8585-4843>

**G.K. Matniyazova** – PhD, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulsim.matniyazova@mail.ru, <https://0000-0002-6820-5219>

**A.A. Avezova** – PhD, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Aiman.avezova754@gmail.com, <https://0000-0003-2673-2528>

**N.S. Auezova** – candidate of Biological Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurkuigan1971@mail.ru, <https://0000-0008-3024>

**Annotation.** Monoterpenes are the most interesting substrates with biological and chemical properties. Nowadays monoterpenes structure didn't clearly recognized by several modern methods. A number of representatives of the terpene series from relevant literature sources were considered to compare their chemical activity, predict obstacles to rheological detection in order to avoid key errors in analytical analyses such as electrophoresis. To determine several qualities of it monoterpenes containing structure was observed and investigated by spectrophotometer and capillary phoresis. In this study, a colorimetric indicator assay was developed for rapid determination of monoterpenes in sweet orange (*Citrus sinensis*) essential oils. Capillary electrophoresis results showed that the main components in citrus essential oil are citral, which elicited greater extents of color changes as compared to other monoterpenes (limonene, α-pinene, β-pinene and terpinolene). The colorimetric indicator is potentially useful for rapid assessment of monoterpene oxidation in citrus essential oil and other citrus-based products.

**Keywords:** monoterpenes, rheological properties, thin-layer chromatography, citral.

## МОНОТЕРПЕНДІ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРИ

<sup>1</sup>**А.Б. Сыздықова\***, <sup>1</sup>**Г.К. Матниязова**, <sup>1</sup>**А.А. Аvezова**, <sup>1</sup>**Н.С. Аузозова**

<sup>1</sup>Астана халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: ailina\_syzdykova@aiu.edu.kz

**А.Б. Сыздықова** – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Астана халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан, e-mail: ailina\_syzdykova@aiu.edu.kz, <https://0000-0002-8585-4843>

**Г.К. Матниязова** – PhD, Астана халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан, e-mail: gulsim.matniyazova@mail.ru, <https://0000-0002-6820-5219>

**А.А. Аvezова** – PhD, Астана қ., Қазақстан, e-mail: Aiman.avezova754@gmail.com, <https://0000-0003-2673-2528>

**Н.С. Аузозова** – биология ғылымдарының кандидаты, Астана қ., Қазақстан, e-mail: nurkuigan1971@mail.ru, <https://0000-0008-3024>

**Андратпа.** Монотерпендер - биологиялық және химиялық қасиеттері бар ең қызықты субстраттардың бірі. Қазіргі уақытта монотерпендердің құрылымы заманауи әдістердің көмегімен толық анықталмаған. Тиісті әдебиет көздерінен алынған терпендер сериясының бірқатар өкілдері олардың химиялық белсенділігін салыстыру, электрофорез сияқты аналитикалық талдаулардағы негізгі қателіктерді болдырмау үшін реологиялық анықтаудағы кедергілерді болжай үшін қарастырылды. Олардың бірқатар қасиеттерін анықтау мақсатында монотерпен құрамы бар құрылым спектрофотометр және капиллярлық электрофорез

әдістерімен зерттелді. Бұл зерттеуде тәтті апельсиннің (*Citrus sinensis*) эфир майларындағы монотерпендердің жедел анықтау үшін колориметриялық индикаторлық әдіс әзірленді. Капиллярлық электрофорез нәтижелері цитрус эфир майының негізгі компоненті цитраль екенін көрсетті, ол басқа монотерпендерге (лимонен, α-пинен, β-пинен және терпинолен) қарағанда түс өзгерісін көбірек тудырады. Колориметриялық индикатор цитрус эфир майларындағы және басқа цитрус негізіндегі өнімдердегі монотерпендердің тотығуын тез бағалау үшін қолдануға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** монотерпендер, реологиялық қасиеттер, жұқа қабатты хроматография, цитраль.

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОТЕРПЕНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**<sup>1</sup>А.Б. Сыздыкова\*, <sup>1</sup>Г.К. Матниязова, <sup>1</sup>А.А. Авезова, <sup>1</sup>Н.С. Ауэзова**

<sup>1</sup>Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан

\*e-mail: ailina\_syzdykova@aiu.edu.kz

**А.Б. Сыздыкова** – магистр естественных наук, Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: ailina\_syzdykova@aiu.edu.kz, <https://0000-0002-8585-4843>

**Г.К. Матниязова** – PhD, Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: gulsim.matniyazova@mail.ru, <https://0000-0002-6820-5219>

**А.А. Авезова** – PhD, Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: Aiman.avezova754@gmail.com, <https://0000-0003-2673-2528>

**Н.С. Ауэзова** – к. б. н., Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: nurkuigan1971@mail.ru, <https://0000-0008-3024>

**Аннотация.** Монотерпены представляют собой одни из наиболее интересных субстратов, обладающих биологическими и химическими свойствами. В настоящее время структура монотерпенов до конца не определена с помощью ряда современных методов. Был рассмотрен ряд представителей терпенового ряда из актуальных литературных источников для сравнения их химической активности, прогнозирования препятствия для реологического детектирования во избежания ключевых ошибок в аналитических анализах, таких как электрофорез. Для выявления их свойств была изучена структура, содержащая монотерпен, с использованием спектрофотометрии и капиллярного электрофореза. В данной работе был разработан подход для быстрого определения монотерпенов в эфирных маслах сладкого апельсина (*Citrus sinensis*). Результаты капиллярного электрофореза показали, что основным компонентом эфирного масла цитрусовых является цитраль, который вызывает более выраженные изменения окраски по сравнению с другими монотерпенами (лимонен, α-пинен, β-пинен и терпинолен). Колориметрический индикатор может быть использован для быстрого определения реологических свойств и степени окисления монотерпенов в эфирных маслах цитрусовых и других продуктах на основе цитрусовых.

**Ключевые слова:** монотерпены, реологические свойства, тонкослойная хроматография, цитраль.

**Introduction.** Terpenes are a group of unsaturated hydrocarbons assembled based on two or more isoprene units. The chemical structures of the common monoterpenes (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>) and sesquiterpenes. The predominant monoterpene in cannabis is myrcene, which imparts earthy/grassy fragrance and exhibits sedative effects for medicinal uses. Myrcene and farnesene are industrially available and can be obtained from the fermentation of biomass-derived sugars such as sugar cane or biosynthesis, which makes them suitable as a raw material for sustainable fine chemicals. Trans-β-farnesene from sugar cane fermentation is also used for the production of squalene (Masyita, 2022:100217). For another example, Squalane is an oil-like terpene highly desirable in the cosmetic industry for skincare formulations due to its emollient properties. It has also been used widely as a food supplement, and in pharmaceuticals. Emulsions of squalane with surfactants are added to vaccines to enhance the immune response. The demand for squalane has steadily increased in recent years and is predicted to continue increasing (Martinez-Botella, 2023). Diterpenes is forskolin could be used as a fluorescent marker for membrane adenylyl cyclase in living enteric neurons in the guinea

pigileum. Forskolin demonstrates the activity of cyclase -type reactions. Forscolin is a suitable neural marker for identifying various classes of neurons. This was proved by colocalization experiments with specific calcium-binding proteins. Sesquiterpenes are composed of three isoprene units and often contribute to the distinct aromas of plants and fungi. Several sesquiterpenes have been studied for their potential medicinal properties. For example, artemisinin, a sesquiterpene lactone derived from sweet wormwood plants, is a critical element in the treatment of malaria (Stankova, 2024:1306-1319).

Another monoterpene commonly found in cannabis is limonene, which has citrus aroma commonly used in food flavoring and perfumery applications. Other major monoterpene fractions present in cannabis products include  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene, camphene, *p*-cymene, ocimene, and terpinolene (Abdollahi et al., 2020, Ibrahim et al., 2019). As one of the most investigated medicinal plants, cannabis (*Cannabis sativa*) continues to gain attention in the contemporary world due to its psychoactive property, medicinal benefits, and increasing legalization in recreational products (Booth&Bohlmann,2019:67-62), (Mahamad et al., 2020:337-346), (Marangoni, 2019:1-6).

Among the various components of cannabis, cannabinoids and terpenes are two most essential groups of compounds that contribute to its bioactive characteristics (Lehissa, 2017:398-415). Various analytical methods have been developed for characterizing cannabinoids in cannabis, including gas chromatography (GC) or liquid chromatography (TLC) coupled with mass spectrometry (MS), infrared spectroscopy (Risoliti, at al., 2020:1777-1782). In comparison, analytical protocols for terpene analysis in cannabis are relatively underexplored, where GC remains the primary approach due to terpene's high volatility (Watanabe, 1979:321-326). Besides monoterpenes, sesquiterpenes such as  $\beta$ -caryophyllene,myrcene,  $\alpha$ -humulene, and selinene, are the second most abundant group of chemical constituents in the volatile fraction of cannabis (Gulluni, 2018), (Novak&Franz), (Amirgaliev et al., 2012).

Citral components have unique properties of enhancing chemoprevention of cancers, and the improvement of menopausal syndromes, osteoporosis, endometriosis, prostatic hyperplasia. It could be obtain from ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) has been used as a food, spice, supplement and flavoring agent and shows us hepatoprotective, anti-inflammatory activities (Kiyama, 2020:108486). Citral is using as emulsion against various gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*), gram-negative bacteria (*Escherichia coli*), and fungi (*Candida albicans*). Synthetic stategies control a microbial growth and enhanced immune respounce. All of citral formulation showed remarkable capability of encapsulating essential oil and increasing antimicrobial properties (Mokarizadeh, 2017).

Terpenes and terpenoids possess a wide range of biological activities including anticancer, antimicrobial (Stankova, 2022:1306-1319), anti-inflammatory, antioxidant, and antiallergic.Major bioactive terpen compounds shed the light on disease management questions (Masyita, 2022).

## **Experimental part.**

### *Procedure*

One milliliter of extracts of different concentrations (from 0.018 to 2.5 mg/mL) is mixed with 2.5 mL of 0.2 M phosphate buffer (pH = 7) and 2.5 mL of 1% potassium ferricyanide  $K_3Fe(CN)_6$ . The whole set is heated in a water bath at 50°C for 20 min. The tubes are centrifuged at 3000 rom for 10 min.

### *Determination of Flavonoids*

To 1 mL of  $AlCl_3$  solution (2% dissolved in methanol), 1 mL of each sample and standard (prepared in methanol) was added. Absorbance was read after 10 minutes of incubation against the prepared reagent blank (J.C.Bakar et al.). Flavonoid concentrations were deduced from the calibration curve range (M.Morshedi, et al.).

### *Evaluation of Antioxidant Power by FRAP*

The ferric reducing antioxidant power (FRAP) of the synthesized compounds was determined according to the method of Benzie and Strain (1996) with slight modifications. The FRAP reagent was freshly prepared by mixing 300 mM acetate buffer (pH 3.6), 10 mM 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) solution in 40 mM HCl, and 20 mM  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  solution in a 10:1:1 (v/v/v) ratio. An aliquot of 100  $\mu$ L of the sample solution of citral (dissolved in methanol) was added to 3.0 mL of FRAP reagent

and incubated at 37°C for 30 min in the dark. A calibration curve was constructed using standard FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O solutions (100-1000 μM), and the results were expressed as μmol Fe(II) equivalents per gram of compound (μmol Fe<sup>2+</sup>/g). All determinations were performed in triplicate, and mean values ± standard deviations were reported.

#### *Determination of Antioxidant Activity by Thin-Layer Chromatography*

Thin-layer chromatography is performed on a glass plate coated with a thin layer of stationary phase. The stationary phase is silica, which is responsible for adsorption and partitioning. The compounds to be separated from the extract are dissolved in the eluent vapour, which carries them away, separating them into small-diameter spots. The result is diffuse round spots (L.Gallego et al.).

#### **Results and Discussion.**

##### *Extraction Yields*

Two isomers were separated in hexane-ethyl acetate (8:2, v/v) Fig 1 shows why polar compounds are more prevalent in roots and leaves, but less so in stem barks. Concerning acetone extracts, yields are respectively 21.43% for stem barks, 20.73% for roots, and 11.43% high. Explanations could be that stem barks contain more semi-polar compounds, followed by roots and leaves. As for the yields of hexane extracts, the values obtained are very low compared with the other values. They are 17.01% for leaves, 12.21% for roots and 4.03% for stem bark. This can be explained by the lack of apolar compounds in stem bark, and their minimal presence in the plant.

The presence of citral in the methanolic solution was confirmed by thin-layer chromatography (TLC). The analysis was carried out on silica gel 60 F<sub>254</sub> plates (Merck). The mobile phase consisted of hexane-ethyl acetate (8:2, v/v).



Fig. 1. Citral. The mobile phase consisted of hexane-ethyl acetate (8:2, v/v)

##### *TLC of Citral*

The appearance of an orange spot corresponding to citral was observed at an R<sub>f</sub> value of approximately 0.45-0.50, which matched that of the authentic citral standard analyzed under the same conditions

Table 1. TLC of Citral (R<sub>f</sub> = 0.45-0.50)

acetone	+
methanol	-
chloroform	+
hexane	+

The qualitative composition of the monoterpene fraction was confirmed by thin-layer chromatography on silica gel plates (SiO<sub>2</sub>, 60 F<sub>254</sub>, Merck). The mobile phase consisted of n-hexane-ethyl acetate (8:2, v/v). Visualization under UV light (254 nm) and subsequent treatment

with 2,4-dinitrophenylhydrazine reagent revealed characteristic orange-yellow spots corresponding to carbonyl-containing compounds. The main compound, identified as citral, exhibited an  $R_f$  value of 0.45-0.50, which was consistent with the authentic standard. The TLC profile demonstrated the presence of minor components corresponding to limonene and  $\alpha$ -pinene, indicating partial oxidation of terpenoid structures during storage. These findings confirm the stability and purity of the isolated monoterpenic fraction and demonstrate the suitability of TLC as a rapid screening method for terpene derivatives in essential oil systems.

Fig 2. illustrated the optical density of a molar solution. It is based on the chemical reaction of reduction of  $Fe^{3+}$  to  $Fe^{2+}$  present in the  $K_3Fe(CN)_6$  complex. Significant indicator of a compound's potential antioxidant activity. The absorbance of the reaction medium is determined at a wavelength of 240-260 nm using a UV-Visible spectrophotometer.

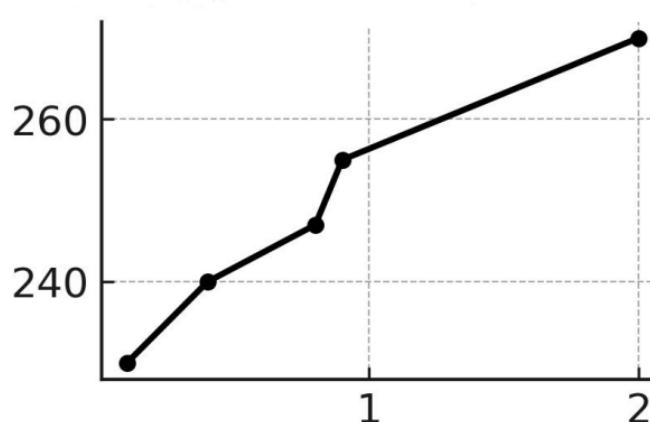


Fig. 2. Graph depending on the optical density of a molar solution

#### *Phytochemical Screening is illustrated by EFG*

The results of the phytochemical assays designed in Fig. 3. After development, the plates were air-dried and visualized under UV light at 254 and 365 nm, followed by spraying with citral reagent to detect the carbonyl group. Capillary electrophoresis allowed for a more detailed evaluation of the electrophoretic behavior of citral and related monoterpenes. Under optimized conditions (phosphate buffer, pH 7.0; applied voltage = 20 kV; capillary = 50  $\mu$ m  $\times$  50 cm), well-resolved peaks were observed with retention times in the range of 2.8-5.4 min. The dominant signal corresponded to citral, confirming its major contribution to the essential oil composition. The obtained electropherogram exhibited a symmetrical peak shape and high reproducibility ( $RSD < 2\%$ ), reflecting both the homogeneity of the compound and the reliability of the analytical conditions. A comparative analysis of TLC and CE data showed excellent correlation between chromatographic mobility ( $R_f$ ) and electrophoretic migration time, supporting the accuracy of compound identification.

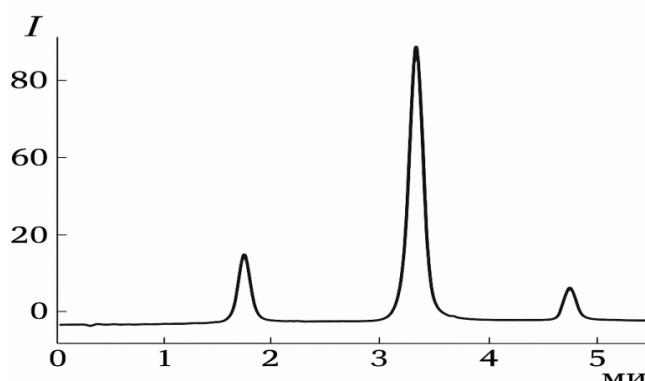


Fig. 3. Electroforegramm of citral component

The results demonstrate that citral is the predominant monoterpene component responsible for the characteristic aroma and antioxidant properties of the studied sample. The combination of TLC and capillary electrophoresis provides complementary information: TLC allows for rapid qualitative screening, while CE ensures quantitative precision and high separation efficiency. Such an integrated analytical approach enables the reliable characterization of monoterpene systems and supports further studies on their rheological and oxidative properties.

Table 2. Quantitative Analysis

<i>X</i>	<i>X(middle)</i>	%
0.011	0.011	11
0.023	0.021	21
0.058	0.058	58

Quantitative evaluation of the monoterpene fraction was performed by densitometric scanning of the TLC plates at 254 nm, and by integrating peak areas obtained from capillary electrophoresis. Calibration curves were constructed using standard citral solutions in the concentration range of 0.01-1.0 mg/mL, yielding a linear correlation with  $R^2 = 0.996$ . The quantitative results confirmed that citral constituted approximately  $58 \pm 2\%$  of the total monoterpene mixture, while limonene and  $\alpha$ -pinene accounted for 21 % and 11 %, respectively. Minor peaks were attributed to oxidation products, which slightly increased after prolonged exposure to air and light. The obtained data indicate that the chosen extraction and separation conditions provided high reproducibility and selectivity for citral determination. Moreover, the correlation between TLC spot intensity and electrophoretic peak area supports the reliability of the combined analytical approach.

**Conclusion.** Based on a series of conducted analyses, the obtained results confirm the potential of citral as an effective precursor for biosynthesis, bioconversion, and strategic planning in organic synthesis. Owing to its unique rheological properties, citral-based systems demonstrate promising prospects for further research aimed at the development of terpene-derived pharmaceutical compounds. Integration of the two analytical methods provided a comprehensive characterization of the target compounds, allowing simultaneous evaluation of purity, composition, and oxidative stability. The results emphasize the analytical value of citral as a model compound in terpene research and its potential use as a marker for quality control in natural essential oils. Furthermore, these findings support the future development of citral-based formulations with improved rheological and antioxidant properties.

## References

- Masyita, R. Mustika Sari, A.Dwi, B.Yasir , N. R. Rumata, T.Bin Emran, F. Nainu, J. Simal-Gandara (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. Food Chemistry: X. 2022, V.13, p.100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>. [In Eng]
- Leghissa, Z.L. Hildenbrand, K.A. Schug, A (2017) review of methods for the chemical characterization of cannabis natural products, Journal of Separation Science.V.41., 2017.pp.398-415. <https://doi.org/10.1002/jssc.201701003>. [In Eng]
- A. Bhatnagar, K. Tewari, S. Yadav, (2022). Evaluation of rheological and antioxidant properties of monoterpene-based emulsions, Journal of Dispersion Science and Technology V.43. 2022. 875-884. [In Eng]
- Ibrahim, M. Wang, M. Radwan, A. Wanis, C. Majumdar, B. Avula, Y.-H. Wang, I. Khan, S. Chandra, H. Lata, G. Hadad, R. Abdel Salam, A. Ibrahim, S. Ahmed, M. ElSohly (2019). Analysis of terpenes in Cannabis sativa L. using GC/MS: method development, validation, and application, Planta Medica 85 (2019) 431-438. <https://doi.org/10.1055/a-0828-8387> [In Eng]
- E.D. Amirgaliev, Theory of Pattern Recognition and Cluster Analysis: Textbook. Almaty, 2012. Recommended by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.
- I.P. Marangoni&A.G. Marangoni (2019).Cannabis edibles: dosing, encapsulation and stability considerations, Current Opinion in Food Science 28 (2019) 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.01.005> [In Eng]
- I. Martinez-Botella, S. Littler, M. Kundra, H. Christian. Valorisation of terpenes by continuous flow hydrogenation over 3D-printed Palladium catalysts.Tetrahedron Green Chem 2 ( 2023), 100014. <https://doi.org/10.1016/j.tgchem.2023.100014> [In Eng]
- J. K. Booth&J. Bohlmann, Terpenes in Cannabis sativa - From plant genome to humans, Plant Science 284 (2019) 67-72. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.022>[In Eng]

- J. Novak&C. Franz, Composition of the essential oils and extracts of two populations of Cannabis sativa L. ssp. spontanea from Austria, Journal of Essential Oil Research 15 (2003) 158-160. <https://doi.org/10.1080/10412905.2003.9712100> [In Eng]
- J.C. Bakar, R. Paaver, T. Mauri, L. Kuldkepp, M. Karelson, Rheological properties of essential oil-based emulsions, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 560 (2019) 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.10.058> . [In Eng]
- J. Stankova, M. Jurasek, M. Hajduch, and P. Dzubak (2024). Terpenes and Terpenoids Conjugated with BODIPYs: An Overview of Biological and Chemical Properties. *Journal of Natural Product.* 2024, 87, 4, 1306-1319. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.3c00961>. [In Eng]
- K. Watanabe, E. Yamaki, I. Yamamoto, H. Yoshimura, A colorimetric method for the determination of cannabinoids with Fast Blue BB salt, *Eisei Kagaku* 25 (1979) 321-326. <https://doi.org/10.1248/jhs1956.25.321>. [In Eng]
- L. Gallego, M. Gordillo, J. Rodríguez, Effect of temperature and composition on rheological behavior of essential oil mixtures, *Journal of Molecular Liquids* 302 (2020) 112582. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112582> [In Eng]
- M. Abdollahi, F. Sefidkon, M. Calagari, A. Mousavi, M.F. Mahomoodally, Impact of four hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties and stage of plant growth on yield and composition of essential oils, *Industrial Crops and Products* 155 (2020) 112793. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112793>. [In Eng]
- M. Morshed, F. Nasirpour, M. Keramat, Rheology and stability of essential oil nanoemulsions: influence of droplet size and composition, *Food Hydrocolloids* 96 (2019) 304-314. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.037> [In Eng]
- M. Mokarizadeh, H. Samadi K , S.Ghanbarzadeh, A. Alizadeh, H. Hamishehkar. Improvement of citral antimicrobial activity by incorporation into nanostructured lipid carriers: a potential application in food stuffs as a natural preservative. *Research in Pharmaceutical Sciences*, (2017), 12, 409-415. <https://doi.org/10.4103/1735-5362.213986>. [In Eng]
- N. Gulluni, T. Re, I. Loiacono, G. Lanzo, L. Gori, C. Macchi, F. Epifani, N. Bragazzi, F. Firenzuoli,(2018). Cannabis essential oil: a preliminary study for the evaluation of the brain effects, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* (2018) 1-11. <https://doi.org/10.1155/2018/1709182>[In Eng]
- R. Risoluti, G. Gullifa, A. Battistini, S. Materazzi, The detection of cannabinoids in veterinary feeds by microNIR/chemometrics: a new analytical platform, *Analyst* 145 (2020) 1777-1782. <https://doi.org/10.1039/C9AN01854A>.[In Eng]
- R. Kiyama.Nutritional implications of ginger:chemistry, biological activities and signaling pathways.*Journal of Nutritional biochemistry* 2020, V.86, p.108486. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108486>. [In Eng]
- S. Mahamad, E. Wadsworth, V. Rynard, S. Goodman, D. Hammond, Availability, retail price and potency of legal and illegal cannabis in Canada after recreational cannabis legalisation. *Drug and Alcohol Review.* V.39. (2020) 337-346. <https://doi.org/10.1111/dar.13069> [In Eng]

## POPULATION BIOLOGY OF ALLIUM AFLATUNENSE B.FEDTSCH. INTRODUCED INTO THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

**<sup>1</sup>F. Mustafa\*, <sup>1</sup>E.M. Oleynikova**

<sup>1</sup>Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russia

\*e-mail: faten.mustafa.33@gmail.com

**F. Mustafa\*** – PhD Student, Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University, 1 Michurin Street, Voronezh, 394087, Russia, e-mail: faten.mustafa.33@gmail.com

**E.M. Oleynikova** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor, Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University, 1 Michurin Street, Voronezh, 394087, Russia, e-mail: cichor@agronomy.vsau.ru

**Abstract.** The development of new green building elements and expansion of the range of ornamental plants used in landscape gardening remains a pressing issue today. In this regard, interest is growing in potential introduced species, particularly perennials, that could be used in various landscape designs. The objectives of this study included investigating the population biology of *Allium afflatunense* B.Fedtsch. during its introduction to the forest-steppe zone of the Russian Federation (Central Black Earth Region, Voronezh). *A. afflatunense* is widely used in landscape design due to its bright purple, star-shaped flowers and striking umbel-shaped inflorescence on a tall stem. After flowering, the umbels retain their ornamental value until the seeds are fully ripened. Thus, the ornamental value of the specimens is maintained throughout the entire growing season. The study was conducted from 2023 to 2025 at the B.A. Keller Botanical Garden of the Voronezh State Agrarian University. The ontogenesis and seed production of the specimens were studied. Over the three years of introduction, *A. afflatunense* plants underwent three stages and seven ontogenetic states: seed, seedling, juvenile, immature, virginal, latent generative, and young generative. The mid-life generative stage was additionally described using 10- to 12-year-old specimens. The article presents diagnostic features and biomorphological characteristics of all stages. Data on the species' seed productivity under the introduction conditions are also presented. The developmental characteristics of *A. afflatunense* grown in the forest-steppe conditions of the Central Chernozem Region suggest the success of the species' introduction and recommend it as an ornamental plant for landscaping. To initiate seed generation in specimens as early as the second year of development, vernalization of plants during the intermediate winter period should be used.

**Key words:** *Allium afflatunense* B.Fedtsch., introduction, ontogenesis, development period, ontogenetic state, morphological characteristics, seed productivity.

## РЕСЕЙ ФЕДЕРАЦИЯСЫНЫҢ ОРМАНДЫ ДАЛА АЙМАҚЫНА ЕҢГІЗГЕН ALLIUM AFLATUNENSE B.FEDTSCH ПОПУЛЯЦИЯЛЫҚ БИОЛОГИЯСЫ

**<sup>1</sup>Ф. Мустафа\*, <sup>1</sup>Е.М. Олейникова**

<sup>1</sup>Император I Петр атындағы Воронеж мемлекеттік аграрлық университеті, Воронеж, Ресей

\*e-mail: faten.mustafa.33@gmail.com

**Ф. Мустафа** – PhD студенті, Император Петр I атындағы Воронеж мемлекеттік аграрлық университеті, Мичурин көшесі, 1, Воронеж, 394087, Ресей, e-mail: faten.mustafa.33@gmail.com

**Е.М. Олейникова** – биология ғылымдарының докторы, доцент, профессор, Император Петр I атындағы Воронеж мемлекеттік аграрлық университеті, Мичурин көшесі, 1, Воронеж, 394087, Ресей, e-mail: cichor@agronomy.vsau.ru

**Аннотация.** Жаңа жасыл құрылыш элементтерін әзірлеу және ландшафттық бақша есіруде қолданылатын сәндік өсімдіктердің түрлерін кеңейту бүгінгі таңда өзекті мәселе болып қала береді. Осыған байланысты әртүрлі ландшафттық дизайндарда қолданылуы мүмкін

әлеуетті енгізілген түрлерге, әсіресе көпжылдық өсімдіктерге қызығушылық артып келеді. Бұл зерттеудің мақсаттарына *Allium aflatunense* B.Fedtsch популяциясының биологиясын зерттеу кірді. Ресей Федерациясының орманды дағы аймағына (Орталық Қара Жер аймағы, Воронеж) интродукциясы кезінде *A. aflatunense* ландшафт дизайнында кеңінен қолданылады, себебі ол ашық құлғін, жұлдыз тәрізді гүлдері және биік сабактағы таңғажайып қолшатыр тәрізді гүлшоғыры. Гүлденгеннен кейін, қолшатыр тұқымдары толық піскенше сәндік құндылығын сақтайды. Осылайша, үлгілердің сәндік құндылығы бүкіл өсу кезеңінде сақталады. Зерттеу 2023 жылдан 2025 жылға дейін Воронеж мемлекеттік аграрлық университетінің Б.А. Келлер атындағы ботаникалық бағында жүргізілді. Үлгілердің онтогенезі және тұқым өндірісі зерттелді. Интродукцияның үш жылында *A. aflatunense* өсімдіктері үш кезеңнен және жеті онтогенетикалық қуиден өтті: тұқым, көшет, жас, жетілмеген, тың, жасырын генеративті және жас генеративті. Орташа генеративті кезең 10-12 жастағы үлгілерді пайдаланып қосымша сипатталды. Мақалада барлық кезеңдердің диагностикалық ерекшеліктері мен биоморфологиялық сипаттамалары көлтірілген. Интродукция жағдайында түрдің тұқым өндірісі туралы деректер де көлтірілген. Орталық Чернозем аймағының орманды-дала жағдайында өсірілген *A. aflatunense* өсімдігінің даму ерекшеліктері түрдің интродукциясының сәттілігін көрсетеді және оны қөгалдандыру үшін сәндік элемент ретінде ұсынады. Дамудың екінші жылында үлгілерде тұқым өндіруді бастау үшін, аралық қысқы кезеңде өсімдіктердің вернализациясын қолдану керек.

**Кілт сөздер:** *Allium aflatunense* B.Fedtsch., интродукция, онтогенез, даму кезеңі, онтогенетикалық кезең, морфологиялық сипаттамалары, тұқым өндіру.

## ПОПУЛЯЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ *ALLIUM AFLATUNENSE* B.FEDTSCH ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**<sup>1</sup>Ф. Мустафа\*, <sup>1</sup>Е.М. Олейникова**

<sup>1</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

\*e-mail: faten.mustafa.33@gmail.com

**Ф. Мустафа** – аспирант, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1, Воронеж, 394087, Россия, e-mail: faten.mustafa.33@gmail.com

**Е.М. Олейникова** – доктор биологических наук, доцент, профессор, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1, Воронеж, 394087, Россия, e-mail: cichor@agronomy.vsau.ru

**Аннотация.** Разработка новых элементов зеленого строительства и расширение ассортимента декоративных растений, используемых в ландшафтном озеленении, остается актуальной задачей сегодняшнего дня. В связи с этим возникает интерес к потенциальным интродуцентам, прежде всего многолетним, которые могли бы использоваться в различных вариантах ландшафтных композиций. В задачи исследований данной работы входило изучение популяционной биологии *Allium aflatunense* B.Fedtsch. при интродукции вида в лесостепной зоне Российской Федерации (Центрально-Черноземный регион, город Воронеж). *A. aflatunense* широко используется в ландшафтном дизайне благодаря ярко-лиловой окраске цветков звездчатой формы и эффектному соцветию в виде зонтика на высоком цветоносе. После цветения зонтики сохраняют свою декоративность вплоть до полного созревания семян. Таким образом, декоративность особей обеспечивается в течение всего вегетативного периода. Исследования проводились 2023-2025 гг. в Ботаническом саду имени Б.А. Келлера Воронежского государственного аграрного университета. Был изучен онтогенез и семенная продуктивность особей. За три года интродукции растения *A. aflatunense* прошли три периода и семь онтогенетических состояний: семя, проросток, ювенильное, имматурное, виргинальное, скрытогенеративное и молодое генеративное. Средневозрастное

генеративное состояние дополнительно описано на особях 10-12-летнего возраста. В статье приводятся диагностические признаки и биоморфологические характеристики всех состояний. Представлены данные по семенной продуктивности вида в условиях интродукции. Особенности развития *A. aflatunense* при выращивании в условиях лесостепи ЦЧР позволяют сделать вывод об успешности интродукции вида и рекомендовать его как декоративный элемент зеленого строительства. Для начала генерации у особей уже на второй год развития следует использовать яровизацию растений в промежуточный зимний период.

**Ключевые слова.** *Allium aflatunense* B.Fedtsch., интродукция, онтогенез, период развития, онтогенетическое состояние, морфологические характеристики, семенная продуктивность.

**Introduction.** The introduction of new plant species is currently in demand not only for fruit and for vegetable crops but also for ornamental plants, which are considered one of the most important elements of modern urban landscape design. Characterizing the ontogenesis of an introduced species in a new habitat is key to its successful use for various purposes. The development of new landscaping elements and expanding the range of ornamental plants used in landscape design remains a pressing task today. Therefore, interest is growing in potential introduced species, particularly perennials, which could be used in a variety of landscape compositions. We consider *Allium* L. to be one of the most promising genera, as various onion species possess a number of distinct advantages: they are highly decorative, early-flowering species, yet retain their attractiveness for some time after seed maturation, remain in a generative state for a long time, and have flowers of varying heights and shades, allowing them to be used in compositions of varying scale and content.

**Material and methods.** The object of our study is the onion (*Allium aflatunense* B.Fedtsch., family *Liliaceae*), belonging to the genus *Allium* L., subgenus *Melanocrommyum*, section *Porrum* Don (Cheremushkina, 2004:280). *Allium aflatunense* is a perennial bulbous plant. It grows in the middle and upper mountain belts of Central Asia and is endemic to the Tien Shan. It is a xeromesophyte (Bukharov et al., 2022:16-24). Currently, collecting this species from the wild is strictly prohibited. In addition to its high ornamental value, the plant has medicinal properties and can be used as a food and honey plant (Gamedzhieva et al., 2021:97-101).

The aim of this study is to describe the main stages of onion development over three years of introduction and to evaluate the seed productivity of the species in the Voronezh Region of the Russian Federation. Introduction work is being conducted at the B. A. Keller Botanical Garden of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I from 2022 to 2025. The planting material consists of *A. aflatunense* seeds obtained through an exchange program from the Botanical Garden of Ivanovo State University. Sowing took place in a closed greenhouse on 15 March 2023, in a substrate with equal proportions of sod soil, peat, and river sand. The seeds were not pre-treated. Gradual acclimatization and transfer of plants to an open environment were synchronized and depended on the developmental stage. Seedlings and young plants were grown in a closed greenhouse at a temperature of 20-25°C. Watering was carried out twice a week, as the initial stages of development are most sensitive to unfavorable factors. As the plants reached maturity (virginal ontogenetic stage), they were transferred to a semi-open greenhouse for protection from strong direct sunlight in the summer and winds in the fall. In winter, they were covered with a 20 cm thick layer of snow.

At the beginning of the following spring (2024), the plants were transferred to permanent soil in experimental plots. The botanical garden's experimental plot is composed of leached chernozem on loess-like loam, medium-deep, heavy loamy, and low-humus soil. The humus content in the 0-20 cm layer does not exceed 3.7-3.8%, the pH is 5.0-5.2, and the hydrolytic acidity is 3.20-3.35 mg-eq per 100 g of soil. The content of mobile phosphorus is 100-105 mg/kg, exchangeable potassium is 105-128 mg/kg (Gladysheva&Oleynikova, 2016:198).

The methodological basis of the study was the traditional methods of population biology and phenology, repeatedly adapted to the conditions of the Central Black Earth Region (Zhukova, 1995; Oleynikova, 1999). The ontogenetic states of the species were identified using the terms and characteristics proposed by T.A. Rabotnov, A.A. Uranov and their students, who stood at the origins of the Soviet population school (Vorontsova et.al., 1976). According to their research, individual plant

development can be divided into 4 periods and 10-12 ontogenetic states. **1. Latent period** (dormant seeds - *se*). **2. Pregenerative period** (sprouts- *p*, juvenile - *j*, immature - *im* and virginile (young vegetative) - *v* ontogenetic states). **3. Generative period** (latent generative - *g<sub>0</sub>*, young generative - *g<sub>1</sub>*, middle-aged (mature) generative - *g<sub>2</sub>*, and old generative - *g<sub>3</sub>* ontogenetic states). **4. Post-generative period** (subsenile - *ss*, senile - *s*, and subcadaveric - *sc* ontogenetic states). It should be noted that it is not always possible to distinguish all of these ontogenetic states in specific species; the spectrum of ontogenetic states can vary significantly among different species, reflecting species-specific features of their biology and individual development.

Seed productivity under introduction conditions was determined using generally accepted methodological developments (Vainagiy, 1974; Oleynikova, 2007).

**Results and discussion.** We described the ontogenesis of *A. aflatunense* for the first time for the forest-steppe of the Central Chernozem Region (Fig. 1-2, Table 1-2). Over three years of introduction, *A. aflatunense* passed through 7 ontogenetic states in its development. In the first year, the following states were observed: *se*, *p*, *j*, *im*, and *v*. The second year of development began with a latent generative ontogenetic state, which successively transitioned to a young generative one. In the third growing season, the capacity for generation was preserved, and the *g<sub>1</sub>* state continued. The middle-aged generative state *g<sub>2</sub>* was observed in previously introduced *A. aflatunense* plants at the age of 10-12 years. States *g<sub>3</sub>*, *ss*, *s*, and *sc* were not recorded on the accessions planted by us or previously. The identified ontogenetic states have the following diagnostic features.

**I. Latent period. Seed (*se*).** The seeds are matte black, round, and warty-surfaced. Their diameter is 1-2 mm. Under natural conditions, the seeds ripen in capsules ranging from broadly ovoid to spherical, 4-5 mm in diameter.

**II. Pregenerative period. Sprouts (*p*).** sprouts emerged on the sixth day or later. Germination was low, reaching only 32.5%. According to literature data (Fomina, 2021:180-190), this is due to deep seed dormancy in species belonging to the subgenus *Melanocrommyum*, including *A. aflatunense*. Dormancy can be partially overcome by dry storage or cold stratification. The seedling is no more than 7 cm tall (Fig. 1). The cotyledon is single, approximately 1 mm wide, elliptical, and has a thin rootlet. The upper part of the cotyledon, initially curved like a loop, then gradually straightens. Reaching the maximum seedling length is accompanied by the appearance of new leaves, heralding the onset of the next stage. Stage (*p*) lasted 2 weeks under our conditions. After this, the cotyledons began to dry out until they died completely in mid-April, while remaining attached to the plant.

Table 1. Biometric parameters of *A. aflatunense* in the pregenerative period

Parameters	Ontogenetic states			
	<i>p</i>	<i>j</i>	<i>im</i>	<i>v</i>
Number of leaves (pcs.)	1	2.5 ± 0.5	3.2 ± 0.4	3.7 ± 0.7
Leaf length (cm)	6.8 ± 0.9	12.8 ± 1.4	19.5 ± 1.9	29.5 ± 3.2
Leaf width (cm)	0.1	0.1	1.5 ± 0.3	2.2 ± 0.5
Number of adventitious roots (pcs.)	-	4.1 ± 0.8	11.7 ± 2.2	18.7 ± 3
Bulb diameter (cm)	-	0.5 ± 0.1	0.7 ± 0.1	1.1 ± 0.3

**Juvenile (*j*)** - This ontogenetic state lasts approximately 2 months (from early April to late May of the first year of introduction). State *j* is characterized by immature traits and properties inherent to adult plants. The plant is a small, single-shoot, rosette shoot consisting of several rounded leaves. Maximum plant height is recorded at the end of April (Fig. 1). During the transition to the juvenile state, the main root is replaced by weak, fibrous adventitious roots, and bulb development is not observed. By early summer, the leaves begin to yellow and are replaced by new leaves, morphologically distinct from the previous ones. Complete death of the leaves in state *j* occurs in mid-May.

**Immature (*im*)** - the transitional state from juvenile plants to adult vegetative ones. Plants are also single-shoot, but with leaves characteristic of the species. The leaves are long, narrowly linear, and their number does not exceed three. The root system is more developed, and small bulbs are beginning to form. In our protected conditions, the *im* stage was short-lived, lasting no more than a month. Soon, larger, wider leaves appeared, replacing the yellowing ones, and the plants became taller and denser.



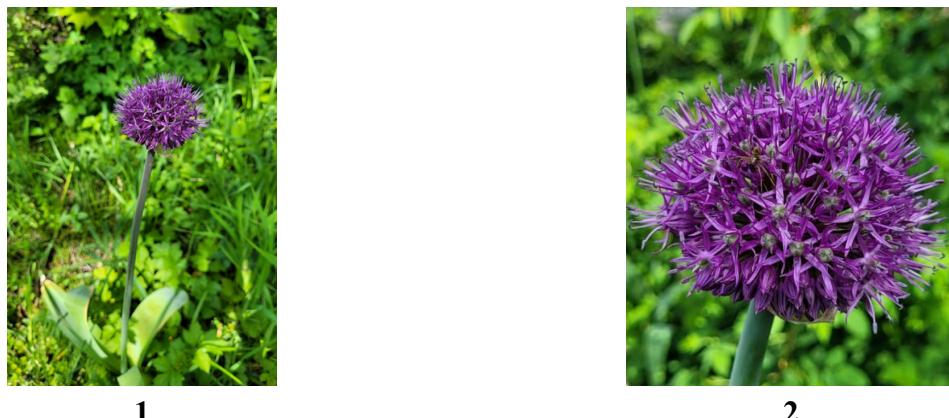
Fig. 1. *Allium aflatunense* plants in the pregenerative stage of ontogenesis: 1 - seedling; 2 - juvenile; 3 - bulb of a virgin plant

**Virginial (*v*)** is the final ontogenetic state of the pregenerative period (Fig. 1, Table 1). The transition of individuals to the *v* state began in mid-July and continued until the end of summer in the first year of introduction (until the end of the growing season). Plants are characterized by long linear leaves, become larger and denser, and form small bulbs up to 4-5 mm in diameter. With the onset of autumn, vegetation ceases, the aboveground portion begins to yellow, and the bulbs enter a dormant state until the next growing season. Complete death of the aboveground portion occurs in mid-November. Overwintering took place in a semi-open greenhouse; plants were protected by a 20 cm thick snow cover to reduce the negative impact of low temperatures on the formed bulbs.

**III. Generative period. Latent-generative state ( $g_0$ )**. Under the conditions of the introduction experiment, plants entered the generative period in the second year of introduction. In early spring, during the first ten days of March, the rosette shoot begins to grow, and simultaneously, the latent generative stage begins. Mature plants are represented by vegetative specimens with 3-4 linear leaves

(Table 2). The  $g_0$  stage lasts approximately two months, until early May. Morphologically,  $g_0$  plants are similar to virginal specimens, but the bulb structure is significantly different. With the onset of vegetation, a generative bud is formed between the fleshy scales of the bulb and then begins to grow, forming the future inflorescence and flower stalk. We believe that under the conditions of the introduction experiment, it was vernalization during the first wintering that facilitated the onset of generation in the second growing season. Literature data indicate that, under natural conditions, most onions initiate generative development at least two years before flowering (Cheremushkina, 2004:280). The transition to the young generative stage is marked by the appearance of a flower stalk in the center of the rosette shoot. It begins to grow rapidly and bears the rudiments of the inflorescence above the soil surface.

**Young generative state ( $g_1$ ).** Plants are single-shoot, the height of the inflorescence is up to 30 cm, exceeds the length of the leaves by about 1.5 times (Fig. 2, Table 2). At the top of the stalk, the inflorescence opens - a dense spherical umbel, consisting of numerous purple star-shaped flowers. The leaves are linear or strap-shaped, long, up to 4 on each shoot. The flowering period lasts about two weeks, until the middle of the third ten-day period of May. Pollination is cross-pollination by insects. The fruit is a dehiscent capsule. Initially, 6 ovules are laid in the ovary of the pistil of each flower (Mustafa, Oleynikova, 2024: 94-98), 1-2 seeds are formed in a mature capsule. Ripening of seeds occurs in the second-third ten-day period of June, complete death of the above-ground part in August. The silhouette of the drying umbel retains its decorative appearance, so faded plants can be kept in flowerbeds until the seeds have sprung, that is, until the first or second ten days of July. The high ornamental value of flowering and faded *A. aflatunense* plants makes them very attractive for use in landscape gardening.



1

2

Fig. 2. Middle-aged generative state of *A. aflatunense*: 1 - General appearance of specimen; 2 - Umbel-shaped inflorescence during the period of mass flowering. 15 May 2023, experimental plot of the Botanical Garden of the Voronezh State Agrarian University

**Middle-aged generative state ( $g_2$ )** - To describe the  $g_2$  state, plants previously introduced to the Botanical Garden of the Voronezh State Agrarian University were used. Their age is 10-12 years. Our observations suggest that the transition to the  $g_2$  state occurs in the 4th-5th year of the generation, that is, no earlier than 5 years of calendar age under the conditions of introduction. The middle-aged generative state is characterized by maximum development of vigor and seed productivity of individuals; greater stability of biometric indicators across years should also be noted (Table 2).

Table 2. Biometric parameters of *A. aflatunense* in the generative period

Parameters	Ontogenetic states					
	<i>g<sub>0</sub></i>	<i>g<sub>1</sub></i>		<i>g<sub>2</sub></i>		
		2024	2025	2023	2024	2025
Number of leaves (pcs.)	3.2 ± 0.6	3.5 ± 0.5	5.9 ± 1.1	9.5 ± 1.6	9.2 ± 2.1	10.2 ± 1.7
Leaf length (cm)	24.1 ± 4.4	25.8 ± 3.7	36.4 ± 2.7	51.3 ± 5.0	54.8 ± 3.7	53.0 ± 3.7
Leaf width (cm)	1.7 ± 0.4	2.1 ± 0.5	2.7 ± 0.4	5.3 ± 0.7	5.2 ± 0.5	5.4 ± 0.6
Average length of flower stalk (cm)	-	29.3 ± 3.7	50.5 ± 7.1	103.2 ± 9.8	106.8 ± 11.1	105.7 ± 9.0
Average diameter of flower stalk (cm)	-	1 ± 0.2	1.2 ± 0.2	1.5 ± 0.1	1.4 ± 0.1	1.4 ± 0.2
Average diameter of inflorescence (cm)	-	2.8 ± 0.8	2.9 ± 0.5	4.7 ± 0.6	4.9 ± 0.6	4.8 ± 0.5

*A. aflatunense* plants have two to four flower stalks over 1 m tall, large inflorescences up to 5 cm in diameter, and up to 200 or more flowers per inflorescence. Seed production indicators were also determined using these model plants (Table 3). During the work, the number of flowers, fruits and seeds in the fruit was calculated per one elementary inflorescence - umbrella (Fig. 3). Actual seed production, fruiting percentage, and productivity coefficient were statistically determined (Table 3).

The set seeds fully mature, which is one of the main criteria for the successful introduction. The values of absolute indicators of seed productivity - the coefficients of fruit formation and seedification - are on average 93% and 45%, respectively (Mustafa, Oleynikova, 2024) - indicate good prospects for growing *A. aflatunense* seed material in the conditions of the Voronezh region.

Fig. 3. Mature fruit buds, fruits and seeds of *A. aflatunense*

To characterize the seed production of plants and subsequently evaluate the success of their introduction, it is necessary to understand the structure of the generative organs of the species under study, in particular, the structure of the ovary and the number of ovules. Since comparative embryological analysis has become an important method of plant taxonomy in recent decades, we were able to find literature data on this issue. In most onion species of the subgenus *Melanocrommyum*, the superior ovary has two three-locular ovules, from which up to six seeds develop (Hanelt, 1992; Fritsch, 2001). Microscopic analysis of flowers confirms that the flowers of *A. aflatunense* have a similar structure. Considering that each simple umbel produces, on average, over 200 flowers, we can

speak of high rates of seed production - both potential and actual. The set seeds ripen fully, which is one of the main criteria for the success of their introduction. The values of absolute indicators of seed productivity - the coefficients of fruit formation and seeding indicate good prospects for growing *A. aflatunense* seed material in the conditions of the Voronezh region.

Table 3. Characteristics of seed productivity of *A. aflatunense*

Показатели семенной продуктивности	Value
Number of umbels per plant (pcs.)	1
Number of ovules per flower (pcs.)	6
Number of flowers per inflorescence (pcs.)	211.67
Number of fruits per inflorescence (pcs.)	198.33
Number of seeds per fruit (pcs.)	2.94
Fruit formation coefficient (%)	93.70
Seed productivity: potential/actual	1270.02/583.09
Productivity coefficient (%)	45.91

**Conclusion.** Based on the research conducted in the forest-steppe conditions of the Voronezh region, the successful introduction of *A. aflatunense* can be confirmed. Individuals sequentially passed through three periods and seven ontogenetic states. Rapid development during the pre-generation period (individuals passed through five states in one growing season) is explained by cultivation in protected conditions and the absence of competition from other species. The transition to generation as early as the second year of vegetation is attributed to vernalization, which individuals underwent during the intermediate winter period. Favorable external conditions stimulated plant development during the most sensitive period of ontogenesis. High seed productivity and the maturation of viable seeds also indicate the success of the species introduction. The generative development of *A. aflatunense* plants already in the second year under the conditions of introduction, the decorativeness of individuals at the time of flowering and seed ripening allows the use of this species in landscaping both in small architectural forms and in large landscape compositions in parks, squares and other public spaces.

#### Литература

- Bukharov, et.al. (2022) - Бухаров А. Ф., Иванова М. И., Кашлева А. И., Еремина Н. А. (2022). Реализация семенной продуктивности лука афлатунского (*Allium aflatunense* B. Fedtsch., Amaryllidaceae Jaume St.-Hil.) в условиях культуры Московской области // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. № 145. С. 16–24. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-145-16-24> [in Russ.]
- Cheremushkina, (2004) - Черемушкина В.А.(2004). Биология луков Евразии. Новосибирск: Наука, 277 с. URL: Elibrary.ru
- Fomina, (2021) - Фомина Т.И.(2021). Биология прорастания семян некоторых видов лука (*Allium L.*) // Таврический вестник аграрной науки. № 3 (27). С. 180–190.
- Gamedzhieva et al., (2021) - Гемеджиева Н. Г., Токенова А. М., Фризен Н. В. (2021). Обзор современного состояния и перспективы изучения казахстанских видов рода *Allium L.* // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Т. 20, № 1. С. 97–101. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2021020> [in Russ.]
- Gladysheva&Oleynikova, (2016) - Гладышева О. В., Олейникова Е. М. (2016). Онтогенез и феноритмотипы пряно-ароматических интродукентов в ЦЧР. [Электронный ресурс] Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет, 198 с. [in Russ.]
- Mustafa&Oleynikova (2024)- Мустафа Ф., Олейникова Е.М. (2024). Развитие *Allium aflatunense* B.Fedtsch. (лука афлатунского) в первый год жизни и оценка семенной продуктивности вида // Научные чтения памяти профессора Б.М. Козо-Полянского: Материалы Всероссийской научно-практической конференции . – Воронеж: ВГУ, С. 94-98 [in Russ.]
- Oleynikova (1999)- Олейникова Е.М. (1999). Структура и динамика ценопопуляций *Cichorium intybus* L. Русской лесостепи: диссертация кандидата биологических наук. – Воронеж, 211 с. [in Russ.]
- Oleynikova, (2007)- Олейникова, Е.М. (2007) Онтоморфогенез и возрастные группы *Eryngium campestre* L. бассейна Среднего Дона //Биоморфологические исследования современной ботаники: матер. междунар. конф.- Владивосток: Ботанический сад-Институт Дальневосточного отделения Российской Академии наук, С. 327-330. [in Russ.]
- Vainagiy (1974) - Вайнагий И. В. (1974). О методике изучения семенной продуктивности на примере *Potentilla aurea* L. // Ботанический журнал. Т. 59, № 6. С. 826–831. [in Russ.]
- Vorontsova et.al., (1976) - Воронцова Л.И., Гатцук Л.Е., Егорова В.Н., Ермакова И.М., Жукова Л.А., Заугольнова Л.Б., Курченко Е.И., Матвеев Л.Е., Михайлова Т.Д., Просвирнина Е.А., Смирнова О.В., Торопова Н.А., Фаликов Л.Д., Шорина Н.И.(1976.) Ценопопуляции растений (основные понятия и структура).- М., 216 с. [in Russ.]
- Zhukova (1995) - Жукова Л. А. (1995). Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола: РИИК «Ланар», 1995. 224 с [in Russ.]

- Fritsch, (2001) - Fritsch R. M. (2001). Taxonomy of the genus Allium: Contribution from IPK Gatersleben //Herbertia, T. 56. № 2. P. 19-50. [in Eng]
- Hanelt, (1992) - Hanelt P. (1992). Ovule number and seed weight in the genus Allium L. // Taxonomic Problems and Genetic Resources: International Symposium on the Genus Allium. Gatersleben.: Germany, – P. 99-105. [in Eng]

### References

- Bukharov, A. F., Ivanova, M. I., Kashleva, A. I., & Eremina, N. A. (2022). Realizatsiya semennoy produktivnosti luka aflatunskogo (*Allium aflatunense* B. Fedtsch., Amaryllidaceae Jaume St.-Htl.) v usloviyah kul'tury Moskovskoy oblasti [Seed productivity of *Allium aflatunense* under cultivation conditions of the Moscow region]. Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada, (145), 16–24. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-145-16-24> [in Russian]
- Cheremushkina, V. A. (2004). Biologiya lukov Evrazii [Biology of Eurasian onions]. Novosibirsk: Nauka. 277 [in Russian]
- Fomina, T. I. (2021). Biologiya prorastaniya semyan nekotorykh vidov luka (*Allium L.*) [Seed germination biology of some *Allium* species]. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki, 3(27), 180–190. [in Russian]
- Fritsch, R. M. (2001). Taxonomy of the genus Allium: Contribution from IPK Gatersleben. Herbertia, 56(2), 19–50. [in English]
- Gamedzhieva, N. G., Tokenova, A. M., & Friesen, N. V. (2021). Obzor sovremenennogo sostoyaniya i perspektivy izucheniya kazakhstanskikh vidov roda *Allium L.* [Current state and prospects of studying Kazakhstani species of the genus *Allium L.*]. Problemy botaniki Yuzhnay Sibiri i Mongoli, 20(1), 97–101. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2021020> [in Russian]
- Gladysheva, O. V., & Oleynikova, E. M. (2016). Ontogenet i fenoritmotipy pryano-aromaticeskikh introducentsov v TsChR [Ontogenesis and phenorhythm types of spicy-aromatic introduced plants in the Central Black Earth Region]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University. [in Russian]
- Hanelt, P. (1992). Ovule number and seed weight in the genus Allium L. In Taxonomic problems and genetic resources: International Symposium on the Genus Allium (pp. 99–105). Gatersleben, Germany. [in English]
- Mustafa, F., & Oleynikova, E. M. (2024). Razvitiye *Allium aflatunense* B. Fedtsch. v pervyy god zhizni i otsenka semennoy produktivnosti vida [Development of *Allium aflatunense* in the first year of life and evaluation of seed productivity]. In Nauchnye chteniya pamyati professora B. M. Kozo-Polyanskogo: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference (pp. 94–98). Voronezh: Voronezh State University. [in Russian]
- Oleynikova, E. M. (1999). Struktura i dinamika tsenopopulyatsiy *Cichorium intybus L.* Russkoy lesostepi [Structure and dynamics of cenopopulations of *Cichorium intybus L.* in the Russian forest-steppe] (Candidate of Biological Sciences dissertation). Voronezh. [in Russian]
- Oleynikova, E. M. (2007). Ontomorfogenet i vozrastnye gruppy *Eryngium campestre L.* basseyna Srednego Dona [Ontomorphogenesis and age groups of *Eryngium campestre L.* in the Middle Don basin]. In Biomorfologicheskie issledovaniya sovremennoy botaniki: Proceedings of the international conference (pp. 327–330). Vladivostok: Botanical Garden–Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. [in Russian]
- Vainagi, I. V. (1974). O metodike izucheniya semennoy produktivnosti na primere *Potentilla aurea L.* [On methods for studying seed productivity using *Potentilla aurea L.* as an example]. Botanicheskiy zhurnal, 59(6), 826–831. [in Russian]
- Vorontsova, L. I., Gatsuk, L. E., Egorova, V. N., Ermakova, I. M., Zhukova, L. A., Zaugolnova, L. B., Kurchenko, E. I., Matveev, L. E., Mikhaylova, T. D., Prosvirnina, E. A., Smirnova, O. V., Toropova, N. A., Falikov, L. D., & Shorina, N. I. (1976). Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura) [Plant cenopopulations: Basic concepts and structure]. Moscow. [in Russian]
- Zhukova, L. A. (1995). Populyatsionnaya zhizn' lugovykh rasteniy [Population life of meadow plants]. Yoshkar-Ola: RIIK "Lanar". [in Russian]

## ОСОБЕННОСТИ ПРИРОСТА ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА: ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

<sup>1</sup>**Ш. Б. Абилова\***<sup>ID</sup>, <sup>1</sup>**А. Б. Карабалаева**<sup>ID</sup>, <sup>1</sup>**А.С. Тулегенов**<sup>ID</sup>, <sup>2</sup>**Ш.М. Жумадина**<sup>ID</sup>

<sup>1</sup>Международный университет Астана, Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

\*e-mail: sholpana\_jan@mail.ru

**Ш. Б. Абилова** – высшая школа естественных наук, Международный университет Астана, Кабанбай батыра 8, Астана, Казахстан, e-mail: sholpana\_jan@mail.ru, <https://0000-0001-8372-1812>

**А. Б. Карабалаева** – высшая школа естественных наук, Международный университет Астана, Кабанбай батыра 8, Астана, Казахстан, e-mail: karabalayevaa@gmail.com, <https://0000-0001-6539-2541>

**А. С. Тулегенов** – магистрант, Высшая школа естественных наук, Международный университет Астана, Кабанбай батыра 8, Астана, Казахстан, e-mail: abilaykhansayfullayevich@outlook.com, <https://0009-0000-2231-6434>

**Ш. М. Жумадина** – агрономический факультет, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: ms.zhumadina@mail.ru, <https://0000-0002-4792-7466>

**Аннотация.** Настоящая статья представляет обзор современных научных исследований, посвящённых динамике радиального прироста древесных пород в условиях изменения климата и антропогенного воздействия, с акцентом на лесостепные экосистемы Казахстана. В качестве методологической основы рассматриваются дендрохронологические подходы, позволяющие выявить связь между климатическими факторами, экологическим состоянием почв и биологическими реакциями древесных растений. На основе анализа литературных источников отечественных и зарубежных авторов показано, что радиальный прирост деревьев чутко реагирует на изменение температуры, засушливость, загрязнение тяжёлыми металлами и другие стрессовые факторы. Выделены ключевые методы анализа древесных колец, включая программные средства ARSTAN и TSAP, а также статистические модели, применяемые в дендроклиматологии. Полученные результаты подчёркивают важность комплексного междисциплинарного подхода к изучению устойчивости лесных экосистем, а также необходимость расширения дендроэкологических исследований для разработки адаптационных стратегий устойчивого лесопользования в Казахстане.

**Ключевые слова:** дендрохронология, радиальный прирост, хвойные породы, лесостепная зона, климатические изменения, экосистема, годичные кольца, Северный Казахстан, экологический мониторинг, устойчивость лесов.

## СОЛТУСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОРМАНДЫ-ДАЛА БЕЛДЕУІНДЕГІ ҚЫЛҚАНДЫ АҒАШТАРДЫҢ ӨСҮ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ: ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛ

<sup>1</sup>**Ш. Б. Абилова\***, <sup>1</sup>**А. Б. Карабалаева**, <sup>1</sup>**А.С. Тулегенов**, <sup>2</sup>**Ш.М. Жумадина**

<sup>1</sup>Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебі, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан

\*e-mail: sholpana\_jan@mail.ru

**Ш.Б. Абилова** – Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебі, Астана, Қазақстан, e-mail: sholpana\_jan@mail.ru, <https://0000-0001-8372-1812>

**А. Б. Карабалаева** – Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебі, Астана, Қазақстан, e-mail: karabalayevaa@gmail.com, <https://0000-0001-6539-2541>

**А. С. Тулеғенов** – Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебінің магистранты, Астана, Қазақстан, e-mail: abilaykhansayfullayevich@outlook.com, <https://0009-0000-2231-6434>

**Ш. М. Жұмадина** – С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Агрономия факультеті, Астана, Қазақстан, e-mail: ms.zhumadina@mail.ru, <https://0000-0002-4792-7466>

**Андратпа.** Бұл мақала Қазақстанның орманды-дала экожүйелеріндегі климаттық өзгерістер мен антропогендік ықпал жағдайларында ағаш түрлерінің радиалды өсімі динамикасына арналған заманауи тылыми зерттеулерге шолу ұсынады. Зерттеудің әдістемелік негізі ретінде климаттық факторлар, топырақтың экологиялық жай-күйі мен ағаш өсімдіктерінің биологиялық реакциялары арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік беретін дендрохронологиялық тәсілдер қарастырылады. Отандық және шетелдік әдеби дереккөздерге талдау жасау негізінде ағаштардың радиалды өсімі температуралың өзгеруі, құрғақшылық, ауыр металдармен ластану және басқа да стресстік факторларға сезімтал екені көрсетілген. Древесиналық сакиналарды талдаудың негізгі әдістері, соның ішінде ARSTAN және TSAP бағдарламалық құралдары, сондай-ақ дендроклиматологияда қолданылатын статистикалық модельдер сипатталады. Зерттеу нәтижелері орман экожүйелерінің тұрақтылығын зерделеуде кешенді пәнаралық көзқарастың маңыздылығын және Қазақстанда орнықты орман пайдаланудың бейімделу стратегияларын әзірлеу үшін дендроэкологиялық зерттеулерді көнегейту қажеттілігін көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** дендрохронология, радиалды өсім, қылқан жапырақты түрлер, орманы-дала аймагы, климаттың өзгеруі, экожүйе, жылдық шенберлер, Солтүстік Қазақстан, экологиялық мониторинг, орман тұрақтылығы.

## SPECIFIC FEATURES OF RADIAL GROWTH OF CONIFEROUS TREES IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF NORTHERN KAZAKHSTAN: A DENDROCHRONOLOGICAL APPROACH

**<sup>1</sup>Sh. B. Abilova\*, <sup>1</sup>A. B. Karabalayeva, <sup>1</sup>A.S. Tulegenov, <sup>2</sup>Sh.M. Zhumadina**

<sup>1</sup>Higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Faculty of Agronomy, Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, Zhenis Avenue, 62, 010011

\*e-mail: sholpana\_jan@mail.ru

**Sh. B. Abilova** – higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sholpana\_jan@mail.ru, <https://0000-0001-8372-1812>

**A. B. Karabalayeva** – higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: karabalayevaa@gmail.com, <https://0000-0001-6539-2541>

**A.S. Tulegenov** – master's Student, Higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: abilaykhansayfullayevich@outlook.com, <https://0009-0000-2231-6434>

**Sh.M. Zhumadina** – faculty of Agronomy, Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: ms.zhumadina@mail.ru, <https://0000-0002-4792-7466>

**Abstract.** This article provides a review of current scientific research on the dynamics of radial tree growth under the influence of climate change and anthropogenic impacts, with a focus on the forest-steppe ecosystems of Kazakhstan. Dendrochronological approaches are examined as the methodological foundation, enabling the identification of links between climatic factors, soil ecological conditions, and biological responses of woody plants. Based on the analysis of national and international literature, it is shown that tree radial growth is highly sensitive to temperature fluctuations, drought, heavy metal pollution, and other stressors. Key methods of tree-ring analysis are highlighted, including ARSTAN and TSAP software, as well as statistical models commonly applied in dendroclimatology. The results emphasize the importance of an integrated interdisciplinary approach

to studying forest ecosystem resilience and highlight the need to expand dendroecological research to develop adaptive strategies for sustainable forest management in Kazakhstan.

**Keywords:** dendrochronology, radial growth, coniferous species, forest-steppe zone, climate change, ecosystem, tree rings, Northern Kazakhstan, ecological monitoring, forest resilience.

**Введение.** Лесостепная зона Северного Казахстана представляет собой чувствительную к климатическим воздействиям экосистему, где хвойные деревья, в частности сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*), являются индикатором изменений в окружающей среде. Радиальный прирост деревьев отражает воздействие температурных аномалий, засух, загрязнений и других антропогенных факторов, что делает дендрохронологические методы незаменимыми в изучении динамики лесных экосистем.

Многочисленные исследования, проведённые в Казахстане и за его пределами, подчеркивают важность междисциплинарного подхода в анализе роста древесных пород.

Изучение изменений в лесных экосистемах в условиях изменения климата требует комплексного научного подхода, сочетающего экологический мониторинг, методы дендрохронологии и оценку антропогенного воздействия. Научные исследования, проведённые в лесных зонах Казахстана и сопредельных регионах, предоставляют широкий спектр данных о росте деревьев, биоиндикации загрязнения и устойчивости лесных массивов к климатическим изменениям.

Изучение прироста хвойных пород деревьев в условиях климатически уязвимых зон, таких как лесостепная зона Северного Казахстана, приобрело особую актуальность в связи с глобальными изменениями климата и необходимостью устойчивого управления лесными экосистемами.

Ряд работ отечественных авторов посвящён исследованию аккумуляции тяжёлых металлов в древесных растениях (Satova et al., 2019; Satova et al., 2020), выявивших значительное загрязнение лесных территорий Восточного Казахстана и их влияние на биомассу растений. Эти результаты дополняются дендрохронологическими исследованиями динамики радиального прироста сосны обыкновенной (Жумадина и др., 2019), которые показали климатически обусловленные колебания в приросте древесины.

Исследования Абиловой и др. (2022) в Катон-Карагайском национальном парке и Zhumadina et al. (2023) в Байанаульском национальном парке подчеркивают влияние как климатических, так и антропогенных факторов на лесные экосистемы. При этом особое внимание уделяется экологическим угрозам, связанным с хозяйственной деятельностью и загрязнением почв.

Зарубежные исследования (Cook & Cole, 1991; D'Arrigo & Jacoby, 1993; Rudel et al., 2020) служат методологической основой для анализа роста деревьев в условиях изменения климата, а также подчеркивают необходимость прогнозирования реакций лесных массивов на будущие климатические сценарии. Работы Wigley et al. (1984) и Fritts (1966) раскрывают основы статистического анализа дендроэкологических временных рядов, важные для количественной оценки климатических сигналов в древесных кольцах.

Технические и программные аспекты дендрохронологии представлены в работах Cook & Kairiukstis (1990), Holmes (1992), и Rinn (1996), где рассматриваются алгоритмы стандартизации хронологий и визуализации данных. Использование программного обеспечения TSAP и ARSTAN позволяет обеспечить высокую точность и воспроизводимость результатов исследований.

Исследования Dulamsuren et al. (2019) и Mapitov et al. (2023) акцентируют внимание на гидравлической архитектуре деревьев и ограничениях прироста хвойных пород в полузасушливых условиях. В этих работах подчёркивается важность водного стресса как лимитирующего фактора роста в Центральной Азии. Farooq et al. (2023) оценили засушливые условия Казахстана с использованием климатических индексов, что актуализирует дендроклиматические подходы для долгосрочного мониторинга.

Работы Andersson & Ardfors (2021) и Sehring (2012) предоставляют критический анализ

политик лесовосстановления в Казахстане, в то время как Upadhyay & Tripathi (2019) и DeMicco et al. (2019) акцентируют внимание на устойчивом лесоуправлении с применением дендрохронологических данных. Эти подходы применимы для долгосрочного планирования и адаптации лесных стратегий в Казахстане.

Кроме того, работы Karabalyayeva et al. (2024) и Fyllas et al. (2017) демонстрируют потенциал интеграции мониторинга загрязнений и вторичной переработки отходов для минимизации негативного воздействия на природные экосистемы. Эти исследования расширяют границы применения дендрохронологии за счёт сочетания с данными экотоксикологии и геохимии.

Таким образом, научные данные подтверждают высокую чувствительность древесных пород к климатическим изменениям и антропогенному стрессу, обосновывая важность дальнейшего развития дендроэкологических исследований в регионе. Это позволит создавать адаптационные стратегии в лесоуправлении, основанные на долговременном мониторинге и экологическом прогнозировании.

**Методы исследования.** Настоящая работа является обзорным исследованием, направленным на систематизацию и анализ научных источников, посвящённых особенностям радиального прироста хвойных пород деревьев в условиях лесостепных экосистем и климатических изменений. Для достижения целей статьи были использованы следующие методы:

Метод систематического анализа научной литературы - проведен отбор и обобщение публикаций отечественных и зарубежных авторов по ключевым темам: дендрохронология, климатически обусловленные изменения прироста, экологические факторы влияния, методические подходы к обработке дендроданных, а также антропогенное воздействие на хвойные леса.

Контент-анализ - содержательное изучение текстов позволило выделить основные научные подходы к интерпретации прироста хвойных пород в условиях климатического стресса, засух и загрязнения окружающей среды. Проведено сопоставление результатов исследований по регионам Казахстана, Северной Америки и Европы.

Сравнительно-исторический метод - использован для анализа эволюции научных взглядов и методологических подходов в области дендроэкологических исследований, включая развитие программного обеспечения (TSAP, ARSTAN, COFECHA) и полевых техник сбора кернов.

Классификация и обобщение данных - на основании анализа источников были структурированы направления исследований по следующим критериям: региональные особенности (лесостепь, степь, горные районы), видовые различия (сосна обыкновенная, ель, лиственница), типы воздействий (климатические, антропогенные), методы измерений.

Географический подход - при обобщении результатов учитывалось пространственное распределение данных с акцентом на условия Северного Казахстана. Это позволило выявить региональные особенности динамики прироста деревьев в условиях лесостепной зоны.

Таким образом, обзорные методы, основанные на качественном и структурном анализе научных публикаций, позволили сформировать целостную картину текущего состояния знаний и определить перспективные направления для дальнейших эмпирических исследований.

**Результаты и обсуждения.** Анализ литературных источников, посвящённых дендрохронологическим исследованиям в лесостепной зоне Северного Казахстана, позволяет выделить совокупность ключевых факторов, определяющих радиальный прирост хвойных древесных пород. Ведущая роль среди них принадлежит климатическим условиям, прежде всего режиму увлажнения и температурным характеристикам в период активной вегетации. Установлено, что количество атмосферных осадков в весенне-летний период, а также экстремальные температурные колебания оказывают прямое и опосредованное влияние на физиологические процессы роста древесины.

Результаты исследований Satova et al. (2019), Абиловой и др. (2022) и Zhumadina et al. (2019) демонстрируют выраженную зависимость ширины годичных колец сосны

обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) от гидротермических условий текущего и предшествующего вегетационного периода. Засушливые годы, сопровождающиеся дефицитом влаги и повышенными температурами воздуха, приводят к значительному снижению радиального прироста, формированию узких годичных колец и увеличению частоты стрессовых анатомических аномалий. Данная тенденция особенно отчётливо проявляется в условиях лесостепной зоны, характеризующейся неустойчивым климатическим режимом и высокой межгодовой вариабельностью осадков.

Работы Dulamsuren et al. (2019) и Mapitov et al. (2023) указывают на то, что на южной границе ареала boreальных хвойных пород наблюдается усиление уязвимости древесных растений к водному стрессу. Повышение летних температур в сочетании с сокращением количества осадков способствует увеличению риска ксилемной эмболии, нарушению водного транспорта и снижению камбальной активности. Эти выводы согласуются с результатами глобальных дендроклиматических исследований (Cook & Cole, 1991; D'Arrigo & Jacoby, 1993), согласно которым хвойные породы в аридных и субаридных регионах являются чувствительными индикаторами климатических изменений, особенно в условиях продолжающегося глобального потепления.

Существенное внимание в рассмотренных работах уделяется методологическим аспектам дендрохронологических исследований. Использование специализированных программных продуктов, таких как TSAP (Rinn, 1996), ARSTAN (Cook & Krusic) и COFECHA (Holmes, 1992), позволяет обеспечить высокую точность датирования годичных колец, стандартизацию хронологий и выявление климатического сигнала в длинных временных рядах. Современные подходы направлены на минимизацию не-климатических трендов и повышение статистической надёжности получаемых хронологий.

В ряде исследований (DeMicco et al., 2019; Upadhyay & Tripathi, 2019) подчёркивается необходимость интеграции классических методов анализа ширины годичных колец с изучением анатомических и морфологических характеристик древесины, включая плотность клеточных стенок, размер трахеид и частоту ложных колец. Такой комплексный подход расширяет возможности интерпретации полученных данных и позволяет более точно идентифицировать влияние отдельных стрессовых факторов, включая экстремальные климатические события.

Отдельного обсуждения заслуживает роль антропогенного воздействия в формировании приростных характеристик хвойных деревьев. Исследования Zhumadina et al. (2023) и Satova et al. (2020) свидетельствуют о значительном накоплении тяжёлых металлов в почвенном покрове и растительных тканях в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью. Загрязнение почв и атмосферного воздуха оказывает негативное влияние на физиологическое состояние деревьев, что отражается в снижении прироста древесины и изменении структуры годичных колец. В данном контексте дендрохронологический метод выступает как эффективный инструмент биондикации, позволяющий выявлять пространственно-временные закономерности экологического неблагополучия.

Несмотря на возрастающий интерес к дендрохронологическим исследованиям в Казахстане, анализ литературы показывает, что существующие работы носят преимущественно локальный характер и охватывают ограниченные территории. Отсутствие единой национальной базы дендрохронологических данных существенно сдерживает развитие региональных и межрегиональных сравнительных исследований, а также построение высокоточных моделей климатических и экологических изменений.

Таким образом, результаты анализа подтверждают высокую информативность дендрохронологического подхода для оценки реакции хвойных древесных пород на климатические и антропогенные факторы в лесостепной зоне Северного Казахстана. Дальнейшее развитие исследований должно быть направлено на расширение пространственного охвата, интеграцию мультидисциплинарных методов и совершенствование инструментов дендроэкологического мониторинга, что позволит повысить научную обоснованность выводов и обеспечить практическую значимость полученных результатов для

устойчивого управления лесными экосистемами региона.

**Заключение.** Проведённый анализ отечественной и зарубежной научной литературы, посвящённой дендрохронологическим исследованиям в лесостепной зоне Северного Казахстана, позволяет сделать обоснованный вывод о высокой информативности и научной значимости данного метода при изучении динамики лесных экосистем в условиях изменяющегося климата. Особое внимание в рассмотренных исследованиях уделяется хвойным древесным породам, в частности сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), которая благодаря своей широкой распространённости, относительной долговечности и выраженной реакции на изменения факторов среды выступает одним из ключевых объектов дендрохронологического анализа в регионе.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о высокой чувствительности радиального прироста сосны обыкновенной к климатическим колебаниям, прежде всего к изменению температурного режима и влагообеспеченности в вегетационный период. В условиях лесостепной зоны Северного Казахстана основными лимитирующими факторами роста древесины являются дефицит атмосферных осадков и почвенной влаги, особенно в весенне-летний период, а также повышение средних и экстремальных температур воздуха в летние месяцы. Установлено, что продолжительные засушливые периоды и учащение аномально жарких сезонов приводят к снижению ширины годичных колец, формированию стрессовых аномалий древесины и, в ряде случаев, к нарушению физиологических процессов роста и развития деревьев.

Наряду с климатическими факторами существенное влияние на прирост древесины оказывает антропогенная нагрузка, проявляющаяся в виде промышленного загрязнения, техногенного изменения ландшафтов, рекреационного воздействия и деградации почвенного покрова. В научных работах подчёркивается роль тяжёлых металлов и других токсичных элементов, накапливающихся в почвах и поступающих в древесные ткани, что негативно сказывается на камбальной активности и формировании годичных колец. Дендрохронологический метод в данном контексте позволяет не только выявлять периоды угнетения роста, но и косвенно оценивать степень и продолжительность антропогенного воздействия на лесные экосистемы.

Анализ ранее выполненных исследований подтверждает высокий потенциал дендрохронологии как эффективного инструмента оценки устойчивости лесных экосистем к внешним стрессовым факторам. Применение современных программных комплексов для обработки и анализа рядов ширины годичных колец, таких как TSAP, ARSTAN и COFECHA, обеспечивает высокую степень точности при датировании древесных колец, стандартизации хронологий и выявлении климатических сигналов. Использование данных программных решений позволяет минимизировать субъективные ошибки, повысить воспроизводимость результатов и расширить возможности ретроспективной реконструкции климатических условий на временных интервалах, охватывающих несколько десятилетий и даже столетий.

Несмотря на достигнутые научные результаты, анализ литературы выявляет ряд нерешённых вопросов и актуальных проблем. В частности, отмечается недостаточная пространственная представленность дендрохронологических исследований на территории Казахстана, фрагментарность имеющихся данных и отсутствие единой национальной базы дендрохронологических хронологий. Это существенно ограничивает возможности комплексного анализа региональных закономерностей роста древесных пород и оценки пространственной неоднородности климатических и антропогенных воздействий.

В этой связи особую актуальность приобретает необходимость расширения географии исследований, охвата различных природно-климатических зон и создания интегрированной базы данных, объединяющей дендрохронологические, климатические, почвенно-химические и геопространственные показатели. Перспективным направлением дальнейших исследований является применение мультидисциплинарного подхода, включающего химический анализ древесины и почв, моделирование роста деревьев с использованием математических и статистических методов, а также активное внедрение ГИС-технологий для пространственного

анализа и визуализации полученных результатов.

Комплексное развитие дендрохронологических исследований в сочетании с современными методами экосистемного мониторинга будет способствовать более глубокому пониманию механизмов адаптации лесных экосистем Северного Казахстана к климатическим изменениям и антропогенному воздействию. Полученные научные данные могут служить основой для разработки научно обоснованных стратегий устойчивого лесопользования, прогнозирования состояния лесных насаждений и формирования адаптационных мер, направленных на сохранение биоразнообразия и экологической устойчивости лесных экосистем Казахстана в условиях глобальных климатических вызовов.

**Благодарность.** Данная статья подготовлена в рамках грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту «Жас ғалым» на 2025-2027 годы. Авторы выражают признательность за предоставленную поддержку и возможность реализации научного исследования в рамках проекта ИРН: АР25796027 «Дендрохронологические исследования хвойных пород деревьев лесостепной зоны на территории РГУ «Государственный национальный природный парк «Кокшетау»».

### Литература

- Абилова и др., 2022 - Абилова Ш.Б., Жумадина Ш.М., Дуламсурен Ч., Жумадилов Б. Дендрохронологические исследования на территории Катон-Карагайского государственного национального природного парка // Катонқарағай Мемлекеттік Үлттық Табиги Паркінің Еңбектері. - 2022. - С. 160-170. - <https://doi.org/10.55435/09032022114> [In Russ.]
- Andersson, Ardfors, 2021 - Andersson L., Ardfors E. Evaluating options for implementing the Kazakhstan forest restoration targets: Master's thesis. - Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2021. [Eng.]
- Cook, Cole, 1991 - Cook E. R., Cole J. On predicting the response of forests in eastern North America to future climatic change // Climatic Change. - 1991. - Vol. 19. - P. 271-282. [Eng.]
- Cook, Kairiukstis, 1990 - Cook E. R., Kairiukstis L. A. Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences. - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. [Eng.]
- Cook, Krusic, 1990 - Cook E. R., Krusic P. J. A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics (ÅRSTAN) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html> (дата обращения: 20.12.2025). [Eng.]
- D'Arrigo, Jacoby, 1993 - D'Arrigo R. D., Jacoby G. C. Tree growth-climate relationships at the northern boreal forests tree line of North America: Evaluation of potential response to increasing carbon dioxide // Global Biogeochemical Cycles. - 1993. - Vol. 7. - P. 525-535. [Eng.]
- DeMicco и др., 2019 - DeMicco V., Carrer M., Rathgeber C. B., Camarero J. J., Voltas J., Cherubini P., Battipaglia G. From xylogenesis to tree rings: Wood traits to investigate tree response to environmental changes // IAWA Journal. - 2019. - Vol. 40. - P. 155-182. [Eng.]
- Dulamsuren и др., 2019 - Dulamsuren C., Abilova S. B., Bektayeva M., Eldarov M., Schuldt B., Leuschner C., Hauck M. Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism in southern boreal tree species of Inner Asia // Tree Physiology. - 2019. - Vol. 39, № 3. - P. 463-473. - <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy116> [Eng.]
- Farooq и др., 2023 - Farooq I., Shah A. R., Sahana M., Ehsan M. A. Assessment of drought conditions over different climate zones of Kazakhstan using standardised precipitation evapotranspiration index // Earth System and Environment. - 2023. - Vol. 7. - P. 283-296. [Eng.]
- Fritts, 1966 - Fritts H. C. Growth-rings of trees: Their correlation with climate: Patterns of ring widths in trees in semiarid sites depend on climate-controlled physiological factors // Science. - 1966. - Vol. 154. - P. 973-979. [Eng.]
- Fritts и др., 1965 - Fritts H. C., Smith D. G., Cardis J. W., Budelsky C. A. Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona // Ecology. - 1965. - Vol. 46. - P. 393-401. [Eng.]
- Fyllas и др., 2017 - Fyllas N. M., Christopoulou A., Galanidis A., Michelaki C. Z., Dimitrakopoulos P. G., Fulé P. Z., Arianoutsou M. Tree growth-climate relationships in a forest-plot network on Mediterranean mountains // Science of the Total Environment. - 2017. - Vol. 598. - P. 393-403. [Eng.]
- Holmes, 1992 - Holmes R. L. The dendrochronology program library // International Tree-Ring Data Bank Program Library User's Manual / ed. by H. D. Grissino-Mayer. - Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1992. - P. 40-74. [Eng.]
- Karabalayeva et.al., 2024 - Karabalayeva A. B., Abilova Sh. B., Sihanova N. S., Shynbergenov Ye. A., Ibadullayeva S. Zh., Kokanbek Zh. Monitoring the environment and recycling approaches for managing oil and drilling waste // Instrumentation Mesure Métrologie. - 2024. - Vol. 23, № 5. - P. 355-361. - <https://doi.org/10.18280/i2m.230503> [Eng.]
- Mapitov и др., 2023 - Mapitov N. B., Belokopytova L. V., Zhirnova D. F., Abilova S. B., Ualiyeva R. M., Bitkeyeva A. A., Babushkina E. A., Vaganov E. A. Factors limiting radial growth of conifers on their semiarid borders across Kazakhstan // Biology. - 2023. - Vol. 12, № 4. - Art. 604. - <https://doi.org/10.3390/biology12040604> [Eng.]
- Rinn, 1996 - Rinn F. TSAP V3.5: Computer program for tree-ring analysis and presentation. - Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. [Eng.]
- Rudel и др., 2020 - Rudel T. K., Meyfroidt P., Chazdon R., Bongers F., Sloan S., Grau H. R., Van Holt T., Schneider L. Whither the forest transition? Climate change, policy responses, and redistributed forests in the twenty-first century // Ambio. - 2020. - Vol. 49. - P. 74-84. [Eng.]
- Satova, et.al., 2019 - Satova K. M., Zhumadina Sh. M., Abilova Sh. B., Akshabakova J. E. Bioaccumulation of heavy metals in woody leaves of the Beskaragai forest area of the East Kazakhstan region // Experimental Biology. - 2019. - Vol. 80, № 3. - <https://doi.org/10.26577/eb-2019-3-b3> [Eng.]
- Satova, et.al., 2020 - Satova K. M., Zhumadina Sh. M., Abilova Sh. B., Mapitov N. B., Jaxylykova A. K. The content of heavy metals in the soils of the dry-steppe Beskaragay ribbon-like pine forest and its pollution level // Rasayan Journal of Chemistry. - 2020. - Vol. 13, № 3. - P. 1627-1636. - <https://doi.org/10.31788/rjc.2020.1335672> [Eng.]
- Sehring, 2012 - Sehring J. Forests in the context of climate change in Kazakhstan. - Giessen: Justus Liebig University Giessen, Center

- for International Development and Environmental Research (ZEU), 2012. [Eng.]
- Upadhyay, Tripathi, 2019 - Upadhyay K. K., Tripathi S. K. Sustainable forest management under climate change: A dendrochronological approach // Environment and Ecology. - 2019. - Vol. 37. - P. 998-1006. [Eng.]
- Wigley и др., 1984 - Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // Journal of Applied Meteorology and Climatology. - 1984. - Vol. 23. - P. 201-213. [Eng.]
- Zhumadina et.al., 2023 - Zhumadina S., Abilova S., Bulekbayeva L., Tarasovskaya N., Zhumadilov B. Anthropogenic impact on the components of the forest ecosystem: On the example of the Bayanaul State National Natural Park // Polish Journal of Environmental Studies. - 2023. - Vol. 32, № 4. - P. 3937-3945. - <https://doi.org/10.15244/pjoes/162053> [Eng.]
- Жумадина и др., 2019 - Жумадина Ш. М., Абилова Ш. Б., Мапитов Н. Б., Карабалаева А. Б., Сатова К. М. Климатически обусловленная динамика радиального прироста сосны обыкновенной в лесных экосистемах Казахстана // Гидрометеорология и экология. - 2019. - № 1 (92). - Режим доступа: <http://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 20.12.2025). [Russ.]

## References

- Abilova, 2022 - Abilova, Sh. B.; Zhumadina, Sh. M.; Dulamsuren, C.; Zhumadilov, B. Z. (2022). Dendrokhronologicheskie issledovaniya na territorii Katon-Karagaj gosudarstvennogo natsional'nogo prirodnogo parka [Dendrochronological studies on the territory of the Katon-Karagay State National Natural Park] // Katonqaragaj Memlekettik Ultyq Tabiqi Parkiniñ Enbekteri. - 2022. - S. 160-170. - <https://doi.org/10.55435/09032022114> (in Russ./Kaz.)
- Andersson, Ardfors, 2021 - Andersson, L.; Ardfors, E. (2021). Evaluating Options for Implementing the Kazakhstan Forest Restoration Targets [Evaluating Kazakhstan forest restoration targets]. - Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2021. - 78 p. (in Eng.)
- Cook, Cole, 1991 - Cook, E. R.; Cole, J. (1991). On predicting the response of forests in eastern North America to future climatic change [Response of forests to future climate change]. - Climatic Change. - 1991. - Vol. 19. - P. 271-282. (in Eng.)
- Cook, Kairiukstis, 1990 - Cook, E. R.; Kairiukstis, L. A. (1990). Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences [Methods of dendrochronology]. - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. - 393 p. (in Eng.)
- Cook, Krusic, 1990 - Cook, E. R.; Krusic, P. J. (1990). A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling (ARSTAN) [Tree-ring standardization program]. - URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html> (data obrashcheniya: 20.12.2025). (in Eng.)
- D'Arrigo, Jacoby, 1993 - D'Arrigo, R. D.; Jacoby, G. C. (1993). Tree growth-climate relationships at the northern boreal forests tree line of North America [Tree growth-climate links]. - Global Biogeochemical Cycles. - 1993. - Vol. 7. - P. 525-535. (in Eng.)
- DeMicco i dr., 2019 - DeMicco, V.; Carrer, M.; Rathgeber, C. B.; Camarero, J. J.; Voltas, J.; Cherubini, P.; Battipaglia, G. (2019). From xylogenesis to tree rings: wood traits to investigate tree response to environmental changes [Tree response traits]. - IAWA Journal. - 2019. - Vol. 40. - P. 155-182. (in Eng.)
- Dulamsuren i dr., 2019 - Dulamsuren, C.; Abilova, Sh. B.; Bektayeva, M.; Eldarov, M.; Schuldt, B.; Leuschner, C.; Hauck, M. (2019). Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism in southern boreal tree species of Inner Asia [Hydraulic architecture and embolism]. - Tree Physiology. - Vol. 39, № 3. - P. 463-473. - <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy116> (in Eng.)
- Farooq i dr., 2023 - Farooq, I.; Shah, A. R.; Sahana, M.; Ehsan, M. A. (2023). Assessment of drought conditions over different climate zones of Kazakhstan using SPEI index [Drought assessment in Kazakhstan]. - Earth System and Environment. - 2023. - Vol. 7. - P. 283-296. (in Eng.)
- Fritts, 1966 - Fritts, H. C. (1966). Growth-rings of trees: Their correlation with climate [Tree rings and climate]. - Science. - 1966. - Vol. 154. - P. 973-979. (in Eng.)
- Fritts i dr., 1965 - Fritts, H. C.; Smith, D. G.; Cardis, J. W.; Budelsky, C. A. (1965). Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona [Tree-rings across gradient]. - Ecology. - 1965. - Vol. 46. - P. 393-401. (in Eng.)
- Fyllas i dr., 2017 - Fyllas, N. M.; Christopoulou, A.; Galanidis, A.; Michelaki, C. Z.; Dimitrakopoulos, P. G.; Fulé, P. Z.; Arianoutsou, M. (2017). Tree growth climate relationships in a forest-plot network on Mediterranean mountains [Tree growth in Mediterranean network]. - Science of the Total Environment. - 2017. - Vol. 598. - P. 393-403. (in Eng.)
- Holmes, 1992 - Holmes, R. L. (1992). The dendrochronology program library [Tree-ring software manual] // In: International Tree-Ring Data Bank Program Library User's Manual. - Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1992. - P. 40-74. (in Eng.)
- Karabalayeva i dr., 2024 - Karabalayeva, A. B.; Abilova, Sh. B.; Sihanova, N. S.; Shynbergenov, Ye. A.; Ibadullayeva, S. Zh.; Kokanbek, Zh. (2024). Monitoring the environment and recycling approaches for managing oil and drilling waste [Oil waste monitoring]. - Instrumentation Mesure Métrologie. - Vol. 23, № 5. - P. 355-361. - <https://doi.org/10.18280/i2m.230503> (in Eng.)
- Mapitov i dr., 2023 - Mapitov, N. B.; Belokopytova, L. V.; Zhirnova, D. F.; Abilova, S. B.; Ualiyeva, R. M.; Bitkeyeva, A. A.; Babushkina, E. A.; Vaganov, E. A. (2023). Factors limiting radial growth of conifers on their semiarid borders across Kazakhstan [Conifer radial growth limits]. - Biology. - 2023. - Vol. 12, № 4. - Art. 604. - <https://doi.org/10.3390/biology12040604> (in Eng.)
- Rinn, 1996 - Rinn, F. (1996). TSAP V3.5: Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation [TSAP software]. - Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. (in Eng.)
- Rudel i dr., 2020 - Rudel, T. K.; Meyfroidt, P.; Chazdon, R.; Bongers, F.; Sloan, S.; Grau, H. R.; Van Holt, T.; Schneider, L. (2020). Whither the forest transition? Climate change, policy responses, and redistributed forests in the twenty-first century [Forest transition]. - Ambio. - 2020. - Vol. 49. - P. 74-84. (in Eng.)
- Satova et.al., 2019 - Satova, K. M.; Zhumadina, Sh. M.; Abilova, Sh. B.; Akshabakova, J. E. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in woody leaves of the Beskaragay forest area of the East Kazakhstan region [Bioaccumulation in forest leaves]. - Experimental Biology. - 2019. - Vol. 80, № 3. - <https://doi.org/10.26577/eb-2019-3-b3> (in Eng.)
- Satova et.al., 2020 - Satova, K. M.; Zhumadina, Sh. M.; Abilova, Sh. B.; Mapitov, N. B.; Jaxylykova, A. K. (2020). The content of heavy metals in the soils of the dry-steppe Beskaragay ribbon-like pine forest and its pollution level [Soil heavy metals]. - Rasayan Journal of Chemistry. - 2020. - Vol. 13, № 3. - P. 1627-1636. - <https://doi.org/10.31788/rjc.2020.1335672> (in Eng.)
- Sehring, 2012 - Sehring, J. (2012). Forests in the Context of Climate Change in Kazakhstan [Forests & climate]. - Giessen: Justus-Liebig-Universität Giessen, ZEU, 2012. (in Eng.)
- Upadhyay, Tripathi, 2019 - Upadhyay, K. K.; Tripathi, S. K. (2019). Sustainable forest management under climate change: A dendrochronological approach [Forest management]. - Environment & Ecology. - 2019. - Vol. 37. - P. 998-1006. (in Eng.)
- Wigley i dr., 1984 - Wigley, T. M. L.; Briffa, K. R.; Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology [Dendroclimatology]. - Journal of Applied Meteorology & Climatology. - 1984. - Vol. 23. - P. 201-213. (in Eng.)
- Zhumadina i dr., 2019 - Zhumadina, Sh. M.; Abilova, Sh. B.; Mapitov, N. B.; Karabalayeva, A. B.; Satova, K. M. (2019). Klimaticheski obuslovленная dinamika radial'nogo prirasta sosny obyknovennoi v lesnykh ekosistemakh Kazakhstana [Climatically conditioned

dynamics of pine radial growth]. - Gidrometeorologiya i Ekologiya. - № 1 (92). - URL: <http://www.kazhydromet.kz> (data obrashcheniya: 20.12.2025). (in Russ.)

Редактор: Мырзабекова А.М. Верстка: Сексенова Ж.М. Подписано в печать: 30.12.2025 г.  
Издание: ТОО Международный университет Астана 010000, Казахстан, г. Астана, пр. Кабанбай  
батыра, 8, тел.: +7 (7172) 47-62-10 (214), e-mail: nsj@aiu.edu.kz