

THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGH EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION
DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
NORTHERN WATER PROBLEMS INSTITUTE OF THE KARELIAN RESEARCH CENTRE
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
THE INSTITUTE OF LIMNOLOGY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN
RESEARCH INSTITUTE FOR PROBLEMS OF ECOLOGY AND MINERAL WEALTH USE
OF TATARSTAN ACADEMY OF SCIENCES
THE MINISTRY OF ECOLOGY AND NATURAL RESOURCES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN
STATE COMMITTEE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN ON BIOLOGICAL RESOURCES
INSTITUTE FOR URBAN DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN
VOLGA-KAMA STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE
BRANCH OF THE RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN
UNESCO CHAIR «APPLICATION OF THE FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF THE EARTH CHARTER
TO CREATE A SUSTAINABLE COMMUNITY»

LAKES OF EURASIA: PROBLEMS AND SOLUTIONS

**PROCEEDING
III INTERNATIONAL CONFERENCE
Kazan, May 20 – 23, 2025**

KAZAN
2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ АН РТ
МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ
ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ВОЛЖСКО-КАМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК
ОТДЕЛЕНИЕ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
КАФЕДРА ЮНЕСКО «РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРИНЦИПОВ ХАРТИИ ЗЕМЛИ ДЛЯ
СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВОГО СООБЩЕСТВА»

ОЗЕРА ЕВРАЗИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**МАТЕРИАЛЫ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
г. Казань, 20 – 23 мая 2025 г.**

**КАЗАНЬ
2025**

УДК 556.55(4/5)(063)

ББК 26.222.6

О-46

Редакционная коллегия

Р.Р. Шагидуллин, Н.Н. Филатов, Д.В. Иванов

Рецензенты:

Академик РАН, доктор географических наук,
советник директора по научной работе, главный научный сотрудник
Санкт-Петербургского научного центра РАН

В.А. Румянцев,

Член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук,
профессор Казанского (Приволжского) федерального университета
В.З. Латышова

Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Материалы III международной конференции (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.). Казань:
Издательство Академии наук РТ, 2025. 991 с.

ISBN 978-5-9690-1336-0

В книге представлены результаты теоретических исследований, практического использования, охраны и управления ресурсами озер Евразии. Рассмотрены Великие озера Евразии: Байкал, Ладожское, Онежское, Телецкое, Чаны и разнообразные озера Арктики и субарктики, boreальской и аридной зон. Основной акцент при организации конференции и подготовке сборника был сделан на то, чтобы рассмотреть наиболее актуальные вопросы лимнологии и возможные пути решения теоретических и практических проблем озер на обширной территории Евразии с учетом необходимости развития тесного международного сотрудничества. Важной задачей конференции является консолидация ученых разных стран Евразии, БРИКСа для получения новых научных знаний, объединение усилий для решения практических проблем трансграничных озерно-речных систем, обоснования возможного перераспределения водных ресурсов, обоснование рационального использования и охраны озер Евразии.

This volume of collected papers was compiled of the proceedings of the III International Conference «Lakes of Eurasia: Problems and Solutions», Kazan, 20-23.05.2025. The volume presents the results of theoretical studies, practical use, conservation and resource management of various lakes of Eurasia. Great Eurasian lakes (Baikal, Ladoga, Onego, Teletskoye, Chany) and diverse lakes of the arctic and subarctic regions, the boreal and arid zones are considered. The key idea in organizing the conference and preparing these proceedings was to address the most pressing issues of limnology and offer potential solutions for theoretical and practical problems of lakes in the vast territory of Eurasia, keeping in mind the need for close international cooperation. An important mission for the 1st conference is to consolidate the efforts of scientists from different Eurasian and BRICS countries in obtaining new knowledge and handling the real problems of transboundary lake-river systems, substantiating possible redistributions of water resources, sustainable management and conservation of Eurasian lakes.

УДК 556.55(4/5)(063)

ББК 26.222.6

ISBN 978-5-9690-1336-0

© Институт проблем экологии и
недропользования АН РТ, 2025
© Изд-во АН РТ, 2025

ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF POSOLSKY BAY, LAKE BAIKAL

S.Y. Neronova

Data are presented on the assessment of water quality based on zooplankton from Posolsky bay (Lake Baikal) for the first time. The saprobic index of zooplankton organisms in the bay varied from xenosaprobic to beta-alpha-mesosaprobic. The assessment of water pollution levels based on hydrobiological indicators showed that the pelagic area of the bay is not significantly different from the shallow coastal areas. The saprobity index values in 2024 are characteristic of Class I waters (conditionally clean).

ОЦЕНКА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ G-RES

О.В. Никитин¹, Н.Ю. Степанова², Р.С. Кузьмин¹, В.З. Латыпова^{2,3}

¹ООО «Экоаудит»

²Казанский (Приволжский) федеральный университет,

³Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

В работе представлена оценка эмиссии парниковых газов (CO_2 , CH_4) от Куйбышевского водохранилища с использованием модели G-res. Суммарная эмиссия составила 566 г CO_2 -экв. $\text{m}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$, из которых 86 % приходится на углекислый газ и 14 % – на CH_4 . Основные пути эмиссии метана включают диффузию (77 %), пузырковую эмиссию (18 %) и дегазацию при сбросе воды (6 %). Полученные результаты согласуются с литературными данными и демонстрируют возможность использования моделирования эмиссии при проведении инвентаризации парниковых газов от водохранилищ.

Водохранилища занимают важное место в структуре современных ландшафтов и выполняют широкий спектр хозяйственных функций, таких как выработка гидроэнергии, управление водными ресурсами, контроль наводнений, обеспечение водоснабжения, рекреация и судоходство. Кроме того, они играют ключевую роль в поддержании экосистемных функций, включая регулирование гидрологических процессов, обеспечение биоразнообразия и участие в круговороте веществ. В контексте углеродного цикла водохранилища выступают как аккумуляторы и источники углерода, оказывая значительное влияние на локальные и глобальные биогеохимические процессы. Они участвуют в переработке аллохтонного органического вещества (OB), поступающего с водосборного бассейна, и автохтонного OB, образующегося в результате жизнедеятельности гидробионтов и деструкции детрита. В процессе физико-химической и биологической трансформации органического вещества образуются диоксид углерода (CO_2) и метан (CH_4), что вносит существенный вклад в глобальный бюджет парниковых газов (Deemer et al., 2016; Beaulieu et al., 2020; Johnson et al., 2021).

Недавние исследования показывают, что метан, образующийся в пресноводных экосистемах, может превосходить по объему прямые антропогенные выбросы, включая выбросы от сельского хозяйства и использования ископаемого топлива. В совокупности водные экосистемы, включая водно-болотные угодья, могут обеспечивать до половины глобального бюджета выбросов CH_4 (Rosentreter et al., 2021). Это подчеркивает необходимость разработки методов оценки эмиссии парниковых газов (ПГ) с поверхности водохранилищ, что является важным элементом для понимания их вклада в глобальный углеродный цикл и разработки мер по смягчению последствий климатических изменений (Nikitin et al., 2024). В данной работе представлена оценка

эмиссии парниковых газов (CH_4 , CO_2) от Куйбышевского водохранилища с использованием модели G-res.

Куйбышевское водохранилище (КВ) расположено в Среднем Поволжье и Нижнем Прикамье Европейской части России. Оно было создано в 1955–1957 гг. при строительстве плотины Жигулёвской гидроэлектростанции на р. Волге вблизи г. Тольятти в Самарской области. КВ – крупнейшее водохранилище Волжско-Камского каскада и одно из самых больших водохранилищ мира, оно занимает площадь 5900 км² и имеет общую ёмкость 57,3 км³. Водохранилище характеризуется выраженным сезонным типом регулирования расходов воды, долгосрочное регулирование не проводится (Никитин и др., 2024).

Модель G-res представляет собой инструмент для оценки чистых выбросов парниковых газов из водохранилищ. Она основана на статистических соотношениях, полученных из опубликованных исследований потоков ПГ, и учитывает такие переменные, как широта, срок эксплуатации водохранилища, содержание углерода в затопленных почвах и другие факторы (Prairie et al., 2021). Модель охватывает основные пути эмиссии парниковых газов из водоемов: диффузный путь для CO_2 и CH_4 , пузырьковый путь, а также дегазацию метана при сбросе воды через плотину водохранилища. Это делает её универсальной и пригодной для разнообразных гидрологических и экологических условий. Кроме того, G-res позволяет проводить оценку эмиссий для всего водохранилища в целом, что особенно полезно для масштабных экологических исследований. Важной характеристикой модели G-res является её способность работать с минимальным объёмом исходных данных, что делает её особенно полезной для регионов с ограниченной доступностью информации и в условиях недостаточной изученности территории.

Разработка G-res велась под эгидой ЮНЕСКО и Международной ассоциации гидроэнергетики ведущими специалистами в этой области. Модель соответствует принципам методологии МГЭИК и рекомендована для инвентаризации выбросов парниковых газов (IPCC, 2019), что подтверждает её научную ценность и применимость для глобальных оценок. Модель получила признание в мировой практике (Prairie et al., 2017, 2021; Hansen et al., 2022), что делает её подходящей для долгосрочных экологических и климатических исследований.

Методология разработки модели G-res и её применения для оценки выбросов парниковых газов с поверхности водохранилищ подробно представлена в работах Prairie и соавторов (2017; 2021). Здесь остановимся на параметрах модели, описывающих зависимости потоков парниковых газов от экологических факторов. В модели G-res каждый путь поступления парниковых газов (диффузия CO_2 , CH_4 , пузырьковый путь эмиссии и дегазирование) был смоделирован как многовариантная зависимость между годовыми эмиссионными показателями на единицу площади и потенциальными переменными-предикторами, с учетом соответствующих преобразований. Потоки эмиссии представлены в единицах эквивалента CO_2 , при этом предполагается, что потенциал глобального потепления CH_4 в 34 раза выше, чем у CO_2 , в расчете на 100 лет. Наиболее важные входные параметры модели G-res, характер их влияния и относительная значимость для каждого пути поступления в атмосферу суммированы для каждой подмодели в таблице 1.

Эмиссия CO_2 в модели G-res в основном определяется содержанием фосфора в воде и углерода в донных отложениях, а эмиссия метана зависит от площади литоральной зоны и количества поступающей солнечной радиации. Температура является важным фактором для обоих парниковых газов. Ряд переменных, используемых в модели, являются независимыми, поскольку они определяются климатическими особенностями региона или историческими факторами (например, исходной структурой

ландшафтов и почв до затопления). Другие переменные зависят от режима эксплуатации водохранилища. К числу последних относится, в первую очередь, доля литоральной зоны от общей площади водохранилища, которая существенно зависит от установленного уровня воды.

Таблица 1. Влияние входных параметров на основные пути эмиссии парниковых газов в соответствии с моделью G-res

Параметры модели	CO_2 diffusion	CH_4 diffusion	CH_4 ebullition	CH_4 degassing
Срок эксплуатации водохранилища	–	–		
Температура	+	+		
Содержание углерода в верхнем слое почвы	+			
Содержание общего фосфора	+			
Площадь водохранилища	+			
Доля литоральной зоны		+	+	
Суммарная радиация*			+	
Сброс гиполимниона				x
Время водообмена				+
Диффузионная эмиссия CH_4				+

* Суммарная радиация оценивается как средняя глобальная горизонтальная радиация за период без ледяного покрова, умноженная на количество месяцев без ледяного покрова. Путь эмиссии газа: diffusion – диффузный поток, ebullition – пузырьковый поток, degassing – дегазация при сбросе воды через плотину водохранилища. Знаки минус (–) или плюс (+) указывают на отрицательную или положительную связь между путём эмиссии и параметром соответственно. «x» – обозначает бинарное решение о включении данного пути поступления в общий расчёт.

Для получения входных переменных математической модели использовалась фондовая информация, данные литературы, полевых наблюдений и дистанционного зондирования, а также глобальные ГИС-данные, содержащие климатическую, географическую и экологическую информацию. Эти данные отражают особенности рельефа, почвенных условий, климата и других факторов для территории расположения Куйбышевского водохранилища. ГИС-данные были получены с использованием облачной платформы геопространственного анализа Google Earth Engine. Для взаимодействия с облачной платформой, извлечения исходных геопространственных растровых данных, а также определения статистических характеристик изучаемых переменных использовались специализированные прикладные программы сопровождения комплексного геэкологического мониторинга: CLIMATERA, CLIMATERA: WIND, COSMOCOMPOSIT: TERRAIN, COSMOCOMPOSIT: LOAD, MONITOR-W: HAB, THERMOCARTA, GEOSPHERA-INTEGRA.

Оцененная в соответствии с моделью G-res эмиссия парниковых газов (CO_2 -экв.) от Куйбышевского водохранилища представлена в таблице 2. Суммарная эмиссия парниковых газов с поверхности водохранилища составляет 566 г CO_2 -экв. $\text{m}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$. Основную долю выбросов (86 %) формирует углекислый газ – 489 г CO_2 -экв. $\text{m}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ (1339 мг CO_2 $\text{m}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$), тогда как на долю метана приходится 77,2 г CO_2 -экв. $\text{m}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$. Углекислый газ часто является доминирующим компонентом эмиссии для водохранилищ (Bevelhimer et al., 2016), что особенно заметно при использовании исходных данных (2,3 г CH_4 $\text{m}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$, или 6,2 мг CH_4 $\text{m}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$), не учитывающих потенциал глобального поступления метана. Согласно расчётной модели, основная часть метана поступает через диффузию (77%), тогда как 18 % связано с пузырьковой

эмиссией, а оставшаяся доля приходится на дегазацию при сбросе воды из водохранилища. Несмотря на относительно небольшую долю (6%) в общем объёме выбросов, этот путь эмиссии имеет важное значение, поскольку он часто недооценивается и редко учитывается в существующих моделях оценки выбросов парниковых газов (Zhou et al., 2024). Преобладание диффузного пути эмиссии метана над другими механизмами также отмечается в литературе для других водохранилищ (Descloux et al., 2017).

Таблица 2. Оценка эмиссии парниковых газов от Куйбышевского водохранилища (интегральная за срок эксплуатации водохранилища) по модели G-res

Параметр эмиссии	Значение	Доля
Эмиссия на единицу поверхности водохранилища, г CO ₂ -экв. м ⁻² ·год ⁻¹	566	100 %
<i>в том числе:</i>		
Эмиссия CO ₂	489	86 %
Эмиссия CH ₄	77,2	14 %
<i>в том числе:</i>		
за счёт диффузии/пузырьков/дегазации	59,2/13,6/4,6	77/18/6 %
Эмиссия на единицу поверхности водохранилища, г ПГ м ⁻² ·год ⁻¹		
Эмиссия CO ₂	489	99,5 %
Эмиссия CH ₄	2,3	0,5 %
<i>в том числе:</i>		
за счёт диффузии/пузырьков/дегазации	1,7/0,4/0,1	77/18/6 %

Результаты проведённых расчётов показывают, что Куйбышевское водохранилище является источником парниковых газов, включая метан и углекислый газ. Полученные данные хорошо соотносятся с диапазонами значений, представленными в литературе для эвтрофных водохранилищ, в соответствии с которыми эмиссия углекислого газа составляет в среднем 1409 мг CO₂ м⁻²·сут⁻¹ (Deemer et al., 2020), а также в целом согласуются с результатами натурных измерений на водохранилищах Волжско-Камского каскада. Например, в работе (Гречушникова и др., 2023) приведены данные для Куйбышевского водохранилища, согласно которым удельный поток метана с основной акватории варьировал от 1,5 до 71,5 мг CH₄ м⁻²·сут⁻¹.

Таким образом, результаты моделирования с использованием G-res подтвердили, что Куйбышевское водохранилище может являться значимым источником парниковых газов, а основные пути их поступления включают диффузию, пузырьковую эмиссию и дегазацию при сбросе воды. Полученные результаты согласуются с литературными данными и подчёркивают необходимость дальнейших исследований для уточнения влияния различных экологических факторов на эмиссию парниковых газов. Эти данные могут быть полезны для разработки стратегий по снижению выбросов ПГ и повышению эффективности управления водохранилищами.

Исследование выполнено за счёт средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Литература

Гречушкина М.Г., Репина И.А., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Ломов В.А., Соколов Д.И., Степаненко В.М., Ефимов В.А., Мольков А.А., Капустин И. А. Содержание и потоки метана в Волжских водохранилищах // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 6. С. 899–913.

Никитин О.В., Степanova Н.Ю., Кондратьева Т. А., Кузьмин Р.С., Латыпова В.З. Пространственно-временная динамика «цветения» фитопланктона в Куйбышевском водохранилище по данным спутникового зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 6. С. 284–293.

Beaulieu J.J., Waldo S., Balz D.A., Barnett W., Hall A., Platz M.C., White K.M. Methane and carbon dioxide emissions from reservoirs: controls and upscaling // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2020. V. 125(12). e2019JG005474.

Bevelhimer M.S., Stewart A.J., Fortner A.M., Phillips J.R., Mosher J.J. CO₂ is dominant greenhouse gas emitted from six hydropower reservoirs in southeastern United States during peak summer emissions // Water. 2016. V. 8(1). 15.

Deemer B.R., Harrison J.A., Li S., Beaulieu J.J., DelSontro T., Barros N., Bezerra-Neto J.F., Powers S.M., dos Santos M.A., Vonk J.A. Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: a new global synthesis // BioScience. 2016. V. 66(11). P. 949–964.

Deemer B.R., Harrison J.A., Li S., Beaulieu J.J., DelSontro T., Barros N., Bezerra-Neto J.F., Powers S.M., dos Santos M.A., Vonk J.A. Data from: Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: a new global synthesis [Dataset]. Dryad, 2020.

Descloux S., Chanudet V., Serça D., Guérin F. Methane and nitrous oxide annual emissions from an old eutrophic temperate reservoir // Science of The Total Environment. 2017. V. 598. P. 959–972.

Hansen C., Pilla R., Matson P., Skinner B., Griffiths N., Jager H. Variability in modelled reservoir greenhouse gas emissions: comparison of select US hydropower reservoirs against global estimates // Environmental Research Communications. 2022. V. 4(12). 121008.

IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Calvo Buendia E., Tanabe K., Kranjc A., Baasansuren J., Fukuda M., Ngarize S., Osako A., Pyrozenko Y., Shermanau P., Federici S. (eds). Switzerland: IPCC, 2019.

Johnson M.S., Matthews E., Bastviken D., Deemer B., Du J., Genovese V. Spatiotemporal methane emission from global reservoirs // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. V. 126(8). e2021JG006305

Nikitin O., Stepanova N., Gubeeva S., Kuzmin R., Latypova V. Assessment of methane levels throughout a temperate reservoir area using remote sensing data // E3S Web of Conferences. 2024. 555. 01009.

Prairie Y.T., Alm J., Beaulieu J., Barros,N., Battin T., Cole J., del Giorgio P., DelSontro T., Guérin F., Harby A., Harrison J., Mercier-Blais S., Serça D., Sobek S., Vachon D. Greenhouse gas emissions from freshwater reservoirs: what does the atmosphere see? // Ecosystems. 2017. V. 21(5). P. 1058–1071.

Prairie Y.T., Mercier-Blais S., Harrison J.A., Soued C., Giorgio P. del, Harby A., Alm J., Chanudet V., Nahas R. A new modelling framework to assess biogenic GHG emissions from reservoirs: the G-res tool // Environmental Modelling & Software. 2021. V. 143. 105117.

Rosentreter J.A., Borges A.V., Deemer B.R., Holgerson M.A., Liu S., Song C., Melack J., Raymond P.A., Duarte C.M., Allen G.H., Olefeldt D., Poulter B., Battin T.I., Eyre B.D. Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources // Nature Geoscience. 2021. V. 14(4). P. 225–230.

Zhou Y., Xu H., Xia T., Xiong L., Chang L.-C., Chang F.-J., Xu C.-Y. Methane degassing in global river reservoirs and its impacts on carbon budgets and sustainable water management // Science of The Total Environment. 2024. V. 957. 177623.

ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM THE KUIBYSHEV RESERVOIR USING THE G-RES MODEL

O.V. Nikitin, N.Yu. Stepanova, R.S. Kuzmin, V.Z. Latypova

This paper presents an assessment of greenhouse gas emissions (CO_2 , CH_4) from the Kuibyshev Reservoir (Russia) using the G-res model. The total emissions were estimated at 566 g $\text{CO}_2\text{-eq}$ $\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$, with 86% attributed to carbon dioxide and 14% to methane. The main methane emission pathways include diffusion (77%), ebullition (18%), and degassing during water discharge (6%). The obtained results are consistent with literature data and highlight the potential of emission modeling for greenhouse gas inventory assessments in reservoirs.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОГО ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВАНИЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

Б.С. Новиков, А.В. Дарьин

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Данная работа рассматривает изменения элементного состава в донных отложениях озер, вызванные климатическими факторами, и их потенциал как палеоархивов. Ключевое внимание уделяется глубоким пресноводным озерам с тонкослоистыми осадками, обеспечивающим высокую точность климатических реконструкций. Описаны методики пробоотбора, определения возраста осадков, а также аналитической микростратиграфии с использованием сканирующего микро-РФА. Результаты позволяют строить временные ряды геохимических данных, связывая их с современными климатическими условиями и оценивать среднегодовую температуру за длительные временные интервалы.

Изменения, происходящие в озерах на протяжении их жизненного цикла и отражаемые в донных отложениях, преимущественно обусловлены климатическими факторами (Wehrli et al., 1997). Озерные осадки содержат данные о прошлой температурной изменчивости, количестве и характере атмосферных осадков, естественных темпах изменений окружающей среды и влиянии человека. Осадки озер, особенно тонко ламинированные с годичной слоистостью, являются наиболее подходящими объектами для изучения изменений окружающей среды за последние тысячетия. Кроме того, изучение таких тонкослоистых отложений позволяет точно привязывать интервалы осадков к временной шкале, что делает озерные осадки важнейшими палеоархивами (Brauer, 2004; Ojala, 2012; Melles et al., 2012; Zolitschka et al., 2015).

Динамика среднегодовых температур воздуха северного полушария за последние 2000 лет исследована достаточно хорошо и формируется на основе ряда локальных палеореконструкций (Esper et al., 2002; Mangini et al., 2005; Oppo et al., 2009), однако пространственные закономерности еще не полностью определены. Большинство исследований сосредоточены на климатических изменениях в голоцене в Европе, Северной Америке, Гренландии и Китае (Svendsen et al., 2004; Melles et al., 2022).

В России детальные реконструкции климатических изменений, в основном, проводились для северо-западных территорий (Хотинский, 1977; Величко и Фаустова, 1989; Суббето, 2009 и др.). В последние годы Восточная Сибирь и Дальний Восток, обладая высокой чувствительностью к глобальным изменениям климата, стали ключевыми регионами для изучения прошлой климатической и экологической