

УДК 502.3+528.854.2+551.511

Д. Ю. Печкур, В. С. Асламова

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российской Федерации

ОБЗОР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НАД ОЗЕРОМ БАЙКАЛ

Аннотация. Озеро Байкал, обладающее уникальной экосистемой и содержащее около 20–22 % мировых запасов пресной воды, подвергается значительному атмосферному загрязнению, обусловленному как антропогенными, так и природными источниками. В работе рассматриваются основные загрязняющие вещества (ЗВ), поступающие в атмосферу и оседающие на акваторию озера, включая парниковые газы (CO_2 , CH_4 , N_2O), оксиды серы и азота (SO_2 , NO_x), взвешенные частицы (PM_{10} , $PM_{2.5}$) и токсичные соединения, такие, как, например, атмосферная ртуть. Особое внимание уделено источникам загрязнения — промышленным узлам (Иркутско-Черемховский, Северобайкальский, Улан-Удэнский), автотранспорту, железным дорогам, судоходству и лесным пожарам. Анализ региональных особенностей показывает, что горные хребты, окружающие озеро, препятствуют рассеиванию загрязнителей, а преобладающие северо-западные ветры способствуют переносу выбросов с промышленных центров по долине реки Ангары. Исследования, проведённые в районе посёлка Листвянка, выявили два ключевых механизма загрязнения: ночной перенос слабо рассеянных шлейфов от отдельных ТЭЦ и крупномасштабный синоптический перенос смешанных выбросов. Показано, что выбросы крупных угольных ТЭЦ в регионах Иркутска, Ангарска и Улан-Удэ оказывают существенное влияние на качество атмосферного воздуха и могут приводить к закислению прибрежных почв и притоков. В заключение подчёркивается необходимость не только перехода на экологически чистую энергетику в прибрежных населённых пунктах, но и кардинальное снижение эмиссии загрязняющих веществ на уровне крупных промышленных источников для сохранения экологического баланса Байкала.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, загрязнение атмосферы, дымовой шлейф.

D. Y. Pechkur, V. S. Aslamova

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

REVIEW OF SCIENTIFIC RESEARCH ON ATMOSPHERIC POLLUTION OVER LAKE BAIKAL

Abstract. Lake Baikal, with its unique ecosystem and containing approximately 20–22% of the world's freshwater, is subject to significant atmospheric pollution from both anthropogenic and natural sources. This paper examines the main pollutants (PP) entering the atmosphere and settling in the lake's waters, including greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , N_2O), sulfur and nitrogen oxides (SO_2 , NO_x), suspended particles (PM_{10} , $PM_{2.5}$), and toxic compounds such as atmospheric mercury. Particular attention is paid to the sources of pollution—industrial hubs (Irkutsk-Cheremkhovo, Severobaikalsk, Ulan-Ude), motor vehicles, railways, shipping, and forest fires. An analysis of regional characteristics shows that the mountain ranges surrounding the lake impede the dispersion of pollutants, while prevailing northwesterly winds facilitate the transport of emissions from industrial centers along the Angara River valley. Research conducted near the village of Listvyanka identified two key pollution mechanisms: the nocturnal transport of poorly dispersed plumes from individual thermal power plants and the large-scale synoptic transport of mixed emissions. It is shown that emissions from large coal-fired thermal power plants in the Irkutsk, Angarsk, and Ulan-Ude regions have a significant impact on atmospheric air quality and can lead to the acidification of coastal soils and tributaries. In conclusion, it is emphasized that in order to preserve the ecological balance of Lake Baikal, it is necessary not only to switch to environmentally friendly energy sources in coastal settlements, but also to drastically reduce the emission of pollutants from large industrial sources.

Keywords: pollutants, air pollution, smoke plume.

Актуальность исследования загрязнения атмосферы над озером Байкал

Актуальность исследований обусловлена особой экологической ценностью озера Байкал как источника пресной воды на планете (20-22% от всех запасов [1, 2]) и необходимостью системного изучения процессов его атмосферного загрязнения. Загрязняющие вещества (ЗВ) попадают в озеро путем оседания под действием гравитации и с кислотными осадками [3].

Процесс выброса в атмосферу ЗВ, парниковых газов, возникающих в результате человеческой деятельности (антропогенной) или природных процессов, называется эмиссией.

Этот термин широко используется в экологии, климатологии и промышленной экологии для оценки влияния различных источников на состояние окружающей среды (ОС).

Антропогенная эмиссия вызвана: сжиганием угля, нефти, газа; промышленными выбросами; выбросами транспорта; использованием удобрений; сжиганием отходов, мусора.

Природная эмиссия обусловлена: вулканической деятельностью; лесными пожарами; – испарением с поверхности озера; разложением органики в озере, почве.

В таблице 1 приведены самые важные ЗВ.

Таблица 1 – Самые важные ЗВ

Наименование газа / вещества	Источник	Влияние на ОС и человека
углекислый газ CO_2	сжигание топлива, промышленность	парниковый газ вызывает глобальное потепление
метан CH_4	сельское хозяйство, свалки, добыча газа, деятельность грязевых вулканов на дне Байкала	сильнее CO_2 в 25–30 раз в плане парникового эффекта (на 100 лет)
закись азота N_2O	удобрения, промышленность	сильный парниковый газ, разрушает озоновый слой
угарный газ CO	неполное сгорание топлива	токсичен для человека и животных
сернистый газ SO_2	сжигание угля, металлургия	причина кислотных дождей
оксиды азота NO_x	автомобили, ТЭЦ	вызывает смог и кислотные дожди
Взвешенные частицы $\text{PM}_{10}, \text{PM}_{2.5}$	промышленность, транспорт	приводит к заболеванию дыхательной системы
Атмосферная ртуть Hg	ТЭЦ	осаждаясь накапливается в пищевых цепях, образовывает метилртуть (крайне токсичное соединение)

Мониторинг атмосферных загрязнений Байкала проводится по нескольким ключевым направлениям:

- исследование состава атмосферных выпадений;
- оценка концентраций ЗВ;
- выявление региональных особенностей и источников загрязнения атмосферы;
- установление механизма функционирования загрязнителей атмосферы;
- изучение причин и последствий лесных пожаров.

В таблице 2 указаны основные источники загрязнения атмосферного воздуха (АВ) Байкала [3-7].

Таблица 2 – Основные источники загрязнения АВ Байкала

Источник загрязнения	Предприятия	Наименование ЗВ	Вклад в загрязнение АВ
Иркутско-Черемховский промузел	ТЭЦ, химические, нефтехимические, алюминиевые, угольные, строительные предприятия, машиностроение	оксиды: NO_x , CO_x , SO_x , формальдегид (Ф), сероуглерод, метилмеркаптан (М), бенз(а)пирен (БП), фтористый водород, сероводород, и др.	осенью и зимой 10%, весной 40% [3]
Северобайкальский промузел	«Нижнеангарскстрой», ПМК "ЛенБАМстрой", асфальтобетонный завод, 48 котельных при эффективности улавливания ЗВ 3%, вклад автотранспорта 26%	зола, CO_2 и CO , SO_x , ВВ	значимый
г. Слюдянка,	карьер "Перевал", Слюдянское рудоуправление, асфальтобитумный завод, 59 котельных, частный сектор с печным отоплением, вклад автотранспорта 5,6 %	PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO_2 , NO_2 , CO , O_3 , сажа	Основной вклад [3]

Продолжение таблицы 2

г. Байкальск	предприятий теплоэнергетики, химической и лёгкой и пищевой промышленности	ВВ, оксиды: NO_x , CO_x , SO_x , F , O_3 , сероводород; сероуглерод; фторид водорода, М и др.	Основной вклад [3]
Улан-Удэнский промузел	Улан-Удэнская ТЭЦ – 41,9%, авиационный завод – 12,2%, стекольный завод, ЛВРЗ, мясокомбинат, приборостроительное объединение, 162 котельные, частный сектор с печным отоплением	диоксид азота, фенола,	в теплый период года 3%, в холодный – 10% [3]
Автомобильный транспорт		NO_x , CO_2 , CO , SO_2 , F , БП, сажа	значимый
ВСЖД и Кругобайкальская железная дорога		сажа, CO , SO_x , NO_x , углеводороды	значимый
Выбросы от судовых двигателей крупных и маломерных (5,6 тыс.) судов		сажа, SO_x , NO_x , CO , CO_2	значимый
Лесные пожары		CO_2 (30 %), CO и сажи (\approx 5 %), SiO_2 (\approx 1 %), метан (\approx 25 %), NO_2 (порядка 0,01 %), H_2S , SO_2 , H_2SO_4 , HCN , CH_3COOH (\approx 10 %); F , полулетучие и летучие органические соединения, тяжелые металлы [8]	весомый

Выявление региональных особенностей загрязнения атмосферы

Берега Байкала окружены горными хребтами, которые частично защищают его от удалённых источников загрязнения, но препятствуют рассеиванию ЗВ из местных источников. Ветер преимущественно имеет северо-западное направление, поэтому преобладающее влияние оказывают предприятия Иркутско-Черемховского узла, расположенных вдоль реки Ангары. Уровень загрязнения воздуха зависит от периода года. Наименьшее загрязнение атмосферы Байкала наблюдается ранней зимой вследствие преобладания слабых ветров, наибольшее – весной из-за усиления скорости ветра вдоль Ангары. Наиболее загрязнена южная часть Байкала (Слюдянка, Байкальск) [1].

Еще в 1992 учёные [9] обнаружили прибрежный вихрь в котловине Байкала, образованный под действием канального эффекта и термической неустойчивости. Такая циркуляция содействует высотному расслоению ЗВ и их перемещению вдоль озера на десятки км.

Ходжер Т.В. и Оболкин В.А. [10-13] для выявления механизма загрязнения атмосферы провели исследования влияния атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ в центральной зоне озера Байкал. Использовались для исследования следующие методы:

- автоматические измерения концентраций ЗВ на станции Листвянка (западная часть побережья Южного Байкала);
- результаты корабельных измерений;
- анализ химического состава атмосферных осадков, снежного покрова, аэрозолей, примесей газа;
- численные расчёты по модели трансформации и распространения ЗВ [14].

В атмосферном воздухе (АВ) Листвянки обнаружена газообразная ртуть [10, 15], наличие которой обусловлено дальными переносами шлейфов больших удаленных ТЭЦ, см. рисунок 1.

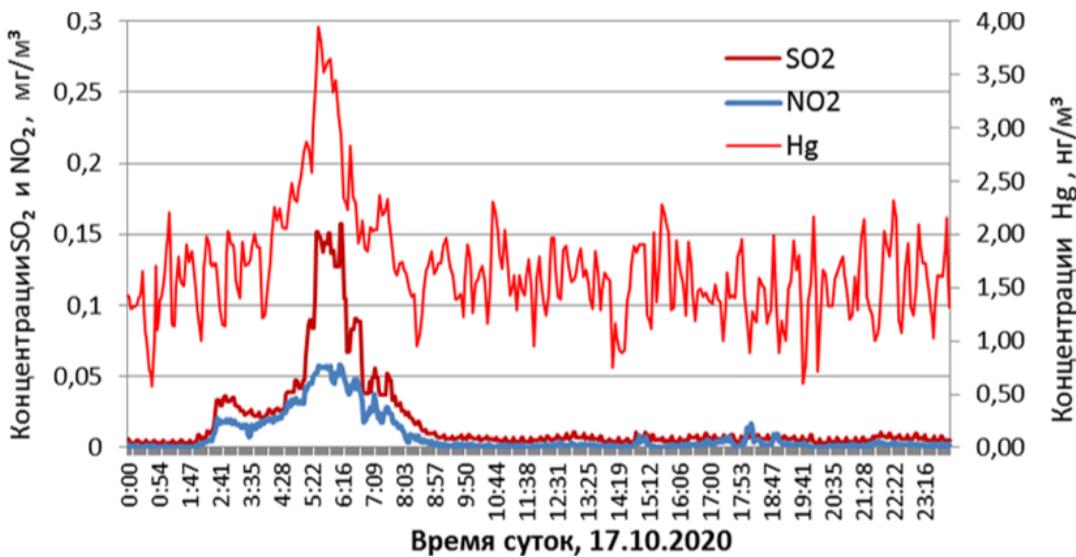


Рисунок 1 – Цифровая регистрация ночного переноса ЗВ над атмосферой Листвянки [15]

Из рис. 1 видно, что концентрации каждого исследуемого ЗВ синхронно повышались ночью, начиная с 3 - 4 ч до 8 ч. В остальное время концентрации SO_2 , NO_2 приближаются к нулю, а концентрации ртути близки к фону. Единовременность увеличения концентраций, перечисленных ЗВ свидетельствует о наличии их общего источника – Иркутской угольной ТЭЦ.

Повышенные концентрации упомянутых ЗВ вероятно вызваны масштабными интенсивными процессами в АВ Южного Байкала, которые охватывают и западные дальние промышленные районы и наблюдаются тогда более продолжительное (в дневные иочные часы), но менее значительные увеличения концентраций NO_2 и SO_2 (рисунок 2).

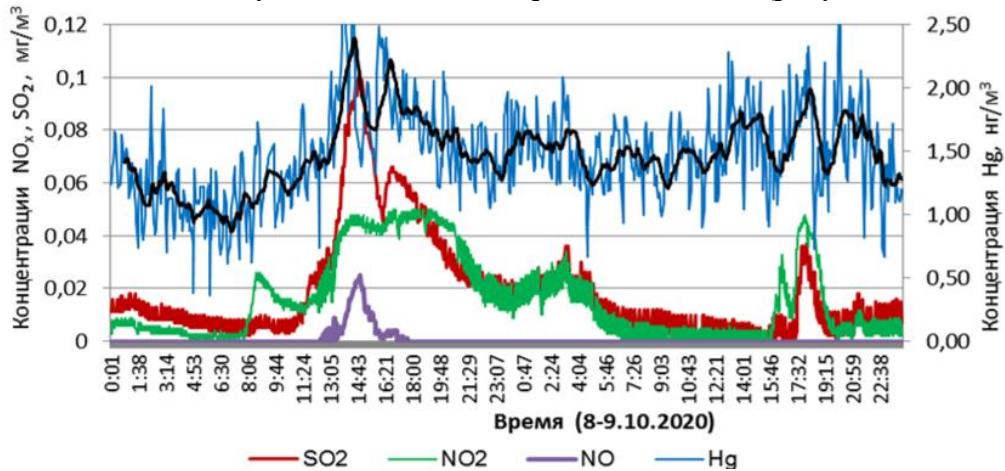


Рисунок 2 – Дальний и широкомасштабный перенос ЗВ на оз. Байкал [15]

Есть 2 основных механизма загрязнения АВ центрального Байкала [15]:

- прямой перенос слабо рассеянных шлейфов региональных отдельных ТЭЦ струйными ночных воздушными течениями на верхней границе 200 - 500 м пограничных слоев атмосферы;
- северо-западный крупномасштабный перенос смешанных выбросов многих удаленных региональных источников за счет процессов синоптического масштаба.

В работе [16], с использованием асимптотик совместного решения уравнений турбулентной диффузии и гидротермодинамики АВ, рекомендовано использовать численные модели восстановления полей концентраций ЗВ в качестве базовых во время прохождения дымовых шлейфов через Листвянку. Определены параметры подъёма дыма от Гусиноозерской ГРЭС и высоких труб Ново-Иркутской ТЭЦ. Для Южного Байкала выполнена реконструкция полей концентраций и определены эмиссии ЗВ от дальних источников. Доказано, что шлейфы дыма распространяются на значительные расстояния от крупных ТЭЦ.

Наиболее сильное загрязнение атмосферы Байкала связано с переносами SO_2 и NO_2 от крупных угольных ТЭЦ как со стороны Ангарска, Иркутска, так и Бурятии (Улан-Удэ, Гусиноозёрск) [10-12].

Загрязнители SO_2 и NO_2 участвуют в образовании солей и кислот, которые воздухом переносятся на огромные расстояния (100-1000 км) [4]. В особенности мощные переносы этих ЗВ происходят ночью при инверсионном состоянии атмосферы. Концентрации SO_2 и NO_2 зависят от температуры АВ (летом – ниже, а зимой – выше), причем в холодный год они выше, а теплый – ниже [14].

При переносе шлейфа дыма NO_2 быстро окисляется озоном, что способствует снижению концентрации O_3 и повышению концентраций ионов H^+ , NO_3^- в атмосферных выпадениях, а SO_2 при переносе шлейфа в холодный период практически не окисляется.

Авторы [10-12]. утверждают, что выбросы региональных крупных угольных ТЭЦ могут нести риски для экосистемы озера. Поэтому только внедрение экологически чистого энергоснабжения населённых пунктов центральной зоны Байкала будет недостаточно для улучшения общей ситуации с загрязнением атмосферы озера. Необходимо снижать выбросы крупных угольных ТЭЦ городов Иркутского региона.

Исследование В. Ф. Рапуты и А. А. Леженина [16] также посвящено оценке загрязнения АВ южного Байкала шлейфами дыма, исходящими от труб крупных Ново-Иркутской ТЭЦ и Гусиноозёрской ГРЭС. Учёные использовали данные спутниковых наблюдений, метеостанций и математические модели для восстановления полей концентрации в атмосфере. Подтвердили, что дымовые шлейфы переносятся на большие расстояния. Наиболее сильное загрязнение фиксируется при переносе воздушных масс с северо-северо-запада, особенно в зимний период, когда инверсии и метеоусловия способствуют накоплению ЗВ. При ветрах с юго-востока (со стороны самого Байкала) уровень загрязнения атмосферы минимален, поскольку воздушные массы поступают с относительно чистых территорий озера.

Концентрация ртути от 0,5 до 4–5 ng/m^3 , оксидов серы и азота – от 0 до 0,2–0,3 mg/m^3 . Синхронность изменений колебания концентраций исследуемых примесей указывает на общий источник — сжигание угля на ТЭЦ.

Экологические последствия:

- повышенная кислотность атмосферных выпадений на юге Байкала может привести к закислению почв в прибрежных лесах;
- выпадение антропогенных нитратов, образующихся при взаимодействии оксидов азота с кислородом, способствует эвтрофикации (чрезмерное цветение водорослей в прибрежной зоне);
- атмосферная ртуть, попадая в воду, превращается в метилртуть (крайне токсичное соединение, накапливающееся в пищевых цепях, включая рыбу).

Заключение

Проведённый анализ свидетельствует о высокой степени антропогенной нагрузки на атмосферу озера Байкал, обусловленной выбросами промышленных предприятий, транспорта и энергетики, особенно крупных угольных ТЭЦ, расположенных за пределами прибрежной зоны. Несмотря на естественную защиту со стороны горных хребтов, Байкал остаётся уязвимым к дальним переносам ЗВ, которые накапливаются в атмосфере, выпадают с осадками и вносят вклад в химическое и биологическое нарушение экосистемы озера. Особенно опасны оксиды серы и азота, способствующие образованию кислотных дождей, а также атмосферная ртуть, переходящая в метилртуть и накапливающаяся в пищевых цепях.

Установлено, что основные механизмы загрязнения – этоочные струйные течения, переносящие шлейфы от отдельных ТЭЦ, и крупномасштабные синоптические процессы, охватывающие выбросы множества источников. Сезонная динамика загрязнения (максимум – весной, минимум – зимой) и пространственная неравномерность (наиболее загрязнены южные районы (Слюдянка, Байкальск) требуют дифференцированного подхода к мониторингу и регулированию эмиссии.

Таким образом, для эффективной защиты экосистемы Байкала недостаточно локальных мер по экологизации прибрежных населённых пунктов. Ключевым направлением должно стать снижение выбросов на уровне крупных региональных источников, в первую очередь угольных ТЭЦ, а также внедрение современных систем очистки их выбросов, перевод транспортных средств на газ, усиление межрегионального экологического контроля. Только комплексный, междисциплинарный и межрегиональный подход позволит сохранить уникальный природный комплекс озера Байкал для будущих поколений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воздушные выбросы над Байкалом. URL: <https://ecoportal.info/ekologicheskie-problemy-bajkala/> (дата обращения 10.10.2025).
2. Кто и как загрязняет Байкал? (3.09.2023). URL: <https://dzen.ru/a/ZPOICsK51jBVozFM?sid=66479711438469> (дата обращения 10.10.2025).
3. Техногенное воздействие на состояние экосистемы Байкала. URL: <https://ecoportal.su/public/region/view/880.html> (дата обращения 22.11.2025).
4. Макухин В.Л., Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Латышева И.В., Ходжер Т.В. Оценки пространственного распределения малых газовых примесей над акваторией озера Байкал в летний период с помощью полевых измерений и результатов математического моделирования //Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2016. Т. 18. С. 69-80. Онлайн-доступ к журналу: http://izvestia_geo.isu.ru/ru/index.html.
5. Аргучинцева А.В., Вологжина С.Ж. Загрязнение атмосферного воздуха Байкальской котловины // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2011. Т. 4. № 2. С. 28–41. Онлайн-доступ к журналу: <http://isu.ru/izvestia>.
6. Шиховцев М.Ю., Моложникова Е.В., Ходжер Т.В., Жамсуева Г.С., Цыдыпов В.В., Тюрнев И.Н. Результаты синхронных измерений содержания оксидов азота и серы в атмосфере южного Байкала в июле 2023 г //Лимнология и биология пресноводных вод. 2024. № 5. С. 1284-1301.
7. Жамсуева Г.С., Ходжер Т.В., Заяханов А.С., Бальжанов Т.С., Дементьева А.Л., Цыдыпов В.В. Результаты маршрутных измеренных аэрозольных и газовых примесей на акватории оз. Байкал // В сборнике: Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. XXVIII Международный симпозиум. Томск, 2022. С. Д295-Д298.
8. Мартынюк А.А., Трушина И.Г., Сергеева Ю.А., Трушина Н.И., Макеева Ю.И. К вопросу о влиянии лесных пожаров на экосистему озера Байкал: аналитический обзор. – Текст: электронный // Лесохозяйственная информация. 2024. № 2. С. 107-132. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.09. <https://elibrary.ru/wvtilp>.
9. Зуев В.Е., Антонович В.В., Белан Б.Д., Жбанов Э.Ф., Микушев М.К., Панченко М.В., Поданев А.В., Толмачев Г.Н., Щербатова А.В. Феномен круговой циркуляции в котловине озера Байкал // Докл. РАН, 1992. Т. 325, № 6. С. 1146.
10. Ходжер Т.В., Оболкин В.А. Исследования влияния атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ в центральной экологической зоне оз. Байкал. URL: <https://conf.isem.irk.ru/event/6/contributions/186/attachments/128/189/docx> (дата обращения 12.11.2025).
11. V. A. Obolkin, V. L. Potemkin, V. L. Makukhin, T. V. Khodzher, and E. V. Chipanina. Long-Range Transport of Plumes of Atmospheric Emissions from Regional Coal Power Plants to the South Baikal Water Basin. Atmospheric and Oceanic Optics, 2017, Vol. 30, No. 4, pp. 360–365. © Pleiades Publishing, Ltd., 2017.
12. Obolkin V., Khodzher T., Sorokovikova L., Tomberg I., Netsvetaeva O., Golobokova L. Effect of long-range transport of sulphur and nitrogen oxides from large coal power plants on acidification of river waters in the Baikal region, East Siberia // International Journal of Environmental Studies 2016. V. 73, № 3. P.452-461.
13. Макухин В.Л., Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Латышева И.В., Ходжер Т.В. Оценки пространственного распределения малых газовых примесей над акваторией озера Байкал в

летний период с помощью полевых измерений и результатов математического моделирования // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2016. Т. 18. С. 69-80. Онлайн-доступ к журналу: http://izvestia_geo.isu.ru/ru/index.html.

14. Хуриганова О.И., Оболкин В.А., Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Потемкин В.Л.

Озоны, оксиды серы и азота в приземной атмосфере на Байкальской природной территории // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018 Т. 24 С. 111-123. Онлайн-доступ к журналу: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.111>.

15. Ходжер Т.В., Оболкин В.А., Моложникова Е.В., Шиховцев М. Ю. Некоторые результаты цифрового (in situ) мониторинга загрязнения атмосферы газовыми примесями в центральной экологической зоне Южного Байкала // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 34. С. 141-155. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.34.141>.

16. Рапута В.Ф., Леженин А.А. Оценка динамических и тепловых характеристик подъёма дымового факела по спутниковой информации // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34. № 7. С. 530-534.

REFERENCES

1. Vozdushnie vibrosi nad Baikalom. URL: <https://ecoportal.info/ekologicheskie-problemy-bajkala/> (date of treatment 10.10.2025).

2. Kto i kak zagryaznyaet Baikal? (September 3, 2023). URL: <https://dzen.ru/a/ZPOICsK51jBVozFM?sid=66479711438469> (date of treatment 10.10.2025).

3. Tekhnogennoe vozdeistvie na sostoyanie ekosistemi Baikala. URL: <https://ecoportal.su/public/region/view/880.html> (date of treatment 11.22.2025).

4. Makukhin V.L., Obolkin V.A., Potemkin V.L., Latisheva I.V., Khodzher T.V. Otsenki prostranstvennogo raspredeleniya malikh gazovikh primesei nad akvatoriei ozera Baikal v letnii period s pomoshchyu polevikh izmerenii i rezul'tatov matematicheskogo modelirovaniya [Estimates of the spatial distribution of trace gases over the waters of Lake Baikal in summer using field measurements and the results of mathematical modeling]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»* [Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"], 2016, v. 18. pp. 69-80. Onlain-dostup k zhurnal: http://izvestia_geo.isu.ru/ru/index.html.

5. Arguchintseva A.V., Vologzhina S.Zh. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha Baikalskoi kotlovini [Air pollution in the Baikal basin]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»* [Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"], 2011, v. 4, no 2, pp. 28-41. Onlain-dostup k zhurnal: <http://isu.ru/izvestia>.

6. Shikhovtsev M.Yu., Molozhnikova Ye.V., Khodzher T.V., Zhamsueva G.S., Tsidipov V.V., Tyurnev I.N. Rezul'tati sinkhronnikh izmerenii soderzhaniya oksidov azota i seri v atmosfere yuzhnogo Baikala v iyule 2023 g [Results of synchronous measurements of nitrogen and sulfur oxides in the atmosphere of southern Baikal in July 2023]. *Limnologiya i biologiya presnovodnikh vod* [Limnology and biology of freshwater waters], 2024, no. 5, pp. 1284-1301.

7. Zhamsueva G.S., Khodzher T.V., Zayakhanov A.S., Balzhanov T.S., Dementeva A.L., Tsidipov V.V. Rezul'tati marshrutnikh izmerennikh aerozolnikh i gazovikh primesei na akvatorii oz. Baikal [Results of route measured aerosol and gas impurities in the water area of Lake Baikal]. V sbornike: *Optika atmosferi i okeana. Fizika atmosferi. XXVIII Mezhdunarodnii simpozium* [Results of route measured aerosol and gas impurities in the water area of Lake Baikal], Tomsk, 2022, pp. D295-D298.

8. Martinyuk A.A., Trushina I.G., Sergeeva Yu.A., Trushina N.I., Makeeva Yu.I. K voprosu o vliyanii lesnikh pozharov na ekosistemu ozera Baikal: analiticheskii obzor – Tekst: elektronniy [On the impact of forest fires on the ecosystem of Lake Baikal: an analytical review]. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya* [Forestry information], 2024, no. 2, pp. 107-132. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.09. <https://elibrary.ru/wvtlp>. Tomsk, 2022. S. D295-D298.

9. Zuev V.E., Antonovich V.V., Belan B.D., Zhbanov E.F., Mikushev M.K., Panchenko M.V., Podanov A.V., Tolmachev G.N., Shcherbatova A.V. Fenomen krugovoi tsirkulyatsii v kotlovine

ozera Baikal [Phenomenon of circular circulation in the basin of Lake Baikal]. *Dokl. RAN* [Reports of the Russian Academy of Sciences], 1992, v. 325, no. 6, pp. 1146.

10. Khodzher T.V., Obolkin V.A. Issledovaniya vliyaniya atmosfernikh vibrosov regionalnykh ugnolnikh TETs v tsentralnoi ekologicheskoi zone oz. Baikal. URL: <https://conf.isem.irk.ru/event/6/contributions/186/attachments/128/189/docx> (date of treatment 11.12.2025).

11. V. A. Obolkin, V. L. Potemkin, V. L. Makukhin, T. V. Khodzher, and E. V. Chipanina. Long-Range Transport of Plumes of Atmospheric Emissions from Regional Coal Power Plants to the South Baikal Water Basin. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2017, Vol. 30, No. 4, pp. 360–365. © Pleiades Publishing, Ltd., 2017.

12. Obolkin V., Khodzher T., Sorokovikova L., Tomberg I., Netsvetaeva O., Golobokova L. Effect of long-range transport of sulphur and nitrogen oxides from large coal power plants on acidification of river waters in the Baikal region, East Siberia // *International Journal of Environmental Studies* 2016. V. 73, № 3. P.452-461.

13. Makukhin V.L., Obolkin V.A., Potemkin V.L., Latisheva I.V., Khodzher T.V. Otsenki prostranstvennogo raspredeleniya malikh gazovikh primesei nad akvatoriei ozera Baikal v letnii period s pomoshchyu polevikh izmerenii i rezul'tatov matematicheskogo modelirovaniya [Estimates of the spatial distribution of trace gases over the waters of Lake Baikal in summer using field measurements and the results of mathematical modeling]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»* [Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"], 2016, v. 18, pp. 69-80. Onlain-dostup k zhurnal: http://izvestia_geo.isu.ru/ru/index.html.

14. Khuriganova O. I., Obolkin V. A., Golobokova L. P., Khodzher T. V., Potemkin V. L. Ozoni, oksidi seri i azota v prizemnoi atmosfere na Baikalskoi prirodnoi territorii [Ozones, sulfur and nitrogen oxides in the surface atmosphere of the Baikal natural territory]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series], 2018, v. 24, pp. 111-123. Onlain-dostup k zhurnal: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.111>.

15. Khodzher T.V., Obolkin V.A., Molozhnikova Ye.V., Shikhovtsev M. Yu. Nekotorie rezul'tati tsifrovogo (in situ) monitoringa zagryazneniya atmosferi gazovimi primesyami v tsentralnoi ekologicheskoi zone Yuzhnogo Baikala [Some results of digital (in situ) monitoring of atmospheric pollution by gas impurities in the central ecological zone of Southern Baikal]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series], 2020, v. 34, pp. 141-155. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.34.141>.

16. Raputa V.F., Lezhenin A.A. Otsenka dinamicheskikh i teplovikh kharakteristik podyoma dimovogo fakela po sputnikovoi informatsii [Assessment of dynamic and thermal characteristics of smoke plume rise based on satellite information]. *Optika atmosferi i okeana* [Optics of the Atmosphere and Ocean], 2021, v. 34, no. 7, pp. 530-534..