



Серия «Науки о Земле»
2024. Т. 50. С. 88–97
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiageo.isu.ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 504.3.054(571.53/.55)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.88>

Поступление нефтепродуктов на поверхность озера Байкал с атмосферными осадками

И. И. Маринайте, О. Г. Нецветаева, В. Л. Потёмкин, В. Н. Синюкович*

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований содержания нефтепродуктов в атмосферных осадках в 2023 г. на станциях мониторинга Южного Прибайкалья (Иркутск, Листвянка, Большие Коты, Байкальский природный биосферный заповедник). Установлено, что максимальные концентрации нефтепродуктов наблюдались в осадках осенне-зимних месяцев, что связано как с низким выпадением влаги в этот период, так и с увеличением объема нефтесодержащих выбросов во время отопительного сезона. Дана оценка степени загрязнения дождевых и снеговых вод нефтепродуктами относительно санитарно-гигиенических норм для водоемов рыбохозяйственного назначения. Выявлено максимальное повышенное содержание нефтепродуктов в осадках на станции Иркутск. В Больших Котах случаи загрязнения осадков выше принятых норм не отмечены. На станции в Байкальском заповеднике отмечено единичное превышение нормы. Оценено поступление нефтепродуктов из атмосферы на акваторию озера на уровне 200–250 т/год. Полученные результаты сопоставимы с данными государственного мониторинга оз. Байкал.

Ключевые слова: нефтепродукты, Южное Прибайкалье, мониторинг атмосферных осадков, выпадение нефтепродуктов из атмосферы.

Благодарности. Исследование выполнено за счет государственного задания ЛИН СО РАН по теме № 0279-2021-0014.

Для цитирования: Поступление нефтепродуктов на поверхность озера Байкал с атмосферными осадками / И. И. Маринайте, О. Г. Нецветаева, В. Л. Потёмкин, В. Н. Синюкович // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 50. С. 88–97. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.88>

Original article

Income of oil Hydrocarbons on to Lake Baikal Surface with Atmospheric Precipitation

I. I. Marinayte, O. G. Netsvetaeva, V. L. Potemkin, V. N. Sinyukovich*

Limnological Institute of RAS SB, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The paper presents the results of studies of oil hydrocarbons contents in atmospheric precipitations in 2023 on monitoring stations in South Pre-Baikal (Irkutsk City, Listvuanka and Bol'shiye Koty settlements, Baikal Natural Biosphere Reserve). It was found out that maximal OH concentrations were observed in the precipitations of autumn and winter months, this is due both to low precipitations during that period and to increase of volume of oil-containing emissions during heating season. The degree of pollution of rain and snow waters with oil hydrocarbons according to

© Маринайте И. И., Нецветаева О. Г., Потёмкин В. Л., Синюкович В. Н., 2024

* Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

sanitary and hygienic norms for fishery water bodies was estimated (MPC for fishery waters). An elevated content of oil hydrocarbons in the precipitations at the station Irkutsk was revealed, it was reaching 10 (MPC for fishery waters). In Bol'shiye Koty settl., there were no cases of precipitations pollution above the accepted norms. At the station in Baikal Natural Reserve, a single (MPC for fishery waters). MAC increase was revealed. Income of oil hydrocarbons from the atmosphere onto lake water area was estimated as 200-250 tons/year. The results obtained are comparable with data of Lake Baikal State monitoring.

Keywords: oil hydrocarbons, South Pre-Baikal, atmospheric precipitations monitoring, oil hydrocarbons precipitation from the atmosphere.

For citation: Marinayte I.I., Netsvetaeva O.G., Potemkin V.L., Sinyukovich V.N. Income of Oil Hydrocarbons on to Lake Baikal Surface with Atmospheric Precipitation. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 50, pp. 88-97. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.88> (in Russian)

Введение

Нефтепродукты (НП) относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих окружающую среду. В гидрохимии под понятием «нефтепродукты» подразумевается сложная смесь органических веществ, состоящая из алифатических, ароматических и алициклических углеводородов [Руководство по химическому ... , 2009; Fractioning of petroleum ... , 2020], поэтому отдельные авторы для обозначения НП используют термин «углеводороды» [Немировская, 2004]. В настоящей статье под нефтепродуктами понимаются только нефтяные углеводороды. Основными источниками поступления НП в окружающую среду являются сточные воды и атмосферные выбросы от промышленных предприятий, выхлопы автотранспорта, нефтяные разливы [Оценка поступления нефтяных ... , 2017]. В Иркутской области наибольшая часть выбросов загрязняющих веществ в атмосферу поступает от стационарных источников (более 77 %), выбросы от передвижных источников составляют чуть более 20 % [Ахтиманкина, 2017; Майсюк, 2017]. Некоторые полициклические углеводороды, такие как 3,4-бензапирен, входящие в состав НП, обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека [Impact of Total Petroleum...2020; Determination of total petroleum...2017], животный мир, биологическое и химическое состояние водоема [Ali, Al-Khafaji, Al-Gezi, 2019; Ogoko, Kelle, 2016; Collection and Use ... , 2018; Agency for Toxic ... , 2018].

В воде прибрежной зоны оз. Байкал содержание НП изменяется от ниже 0,005 до 0,056 мг/дм³, а в пелагиали озера не превышает 0,010 мг/дм³ [Нефтепродукты в озере ... , 2022]. Основная часть нефтепродуктов поступает в Байкал с водами притоков. Вторым по значимости источником НП на поверхность озера является атмосфера [Зилов, 2013; Нефтепродукты в озере ... , 2022], однако количественные оценки потока нефтяных углеводородов из атмосферы крайне затруднительны вследствие их подвижности и сложности миграции в окружающей среде, а также недостатка экспериментальных данных. До настоящего времени оценка поступления НП в оз. Байкал из атмосферы исчерпывалась отрывочными данными системы государственного мониторинга поверхностных вод и их обобщением [Зилов, 2013],

поэтому исследование данной проблемы остается актуальной задачей изучения формирования качества байкальских вод и определения степени антропогенной нагрузки на экосистему озера. Цель настоящего исследования состоит в определении содержания нефтепродуктов в атмосферных осадках Южного Прибайкалья и оценке их поступления на поверхность оз. Байкал.

Используемые методы и материалы

Работы по определению содержания нефтепродуктов в атмосферных осадках проводились авторами с февраля 2023 г. по февраль 2024 г. Станции отбора проб осадков отображены на схеме (рис. 1). Первая находится в спальном районе Иркутска (Академгородок), вблизи здания ЛИН СО РАН. Вторая располагается в пос. Листвянка, в километре от его застроенной части. Третья находится на западном берегу оз. Байкал, в пос. Большие Коты. Четвертая – на юго-восточном побережье оз. Байкал, на территории Байкальского природного биосферного заповедника (в районе пос. Танхой). Данная станция расположена в зоне преобладающего переноса антропогенных примесей от крупных промышленных центров Приангарья.

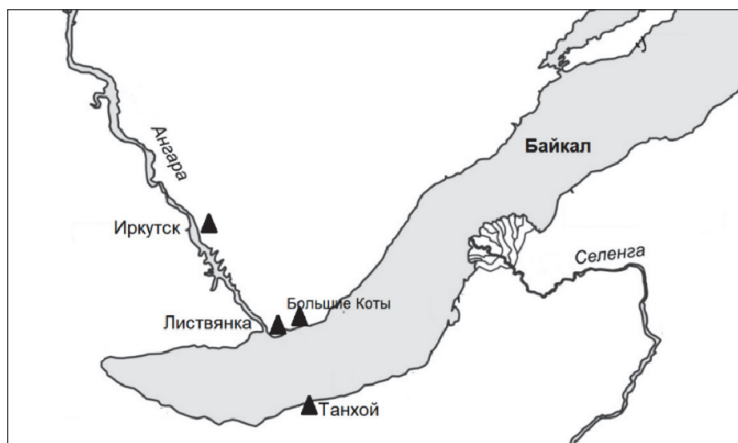


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб атмосферных осадков

Пробы атмосферных осадков отбирались автоматическим осадкосборником. Жидкие осадки переливали в бутылки из темного стекла, свежевыпавший снег пересыпали в полиэтиленовые пакеты. Отобранные образцы (102 пробы) доставлялись в лабораторию для дальнейшего анализа. Определение содержания НП в дождевой и снеговой воде выполнялось флуориметрическим методом на анализаторе «Флюорат-02-3М» с диапазоном измерений массовой концентрации нефтепродуктов от 0,005 до 50 мг/дм³. Относительное стандартное отклонение для процедуры определения составляло от 21 до 42 % для различных диапазонов концентрации. Вместе с определениями проб осадков учитывались результаты анализа проб снежного покрова, отобранных в 2022 г. со льда оз. Байкал в районе станции отбора Большие Коты.

Потоки НП на подстилающую поверхность рассчитывались с учетом сведений о количестве осадков по ближайшим метеостанциям. В поселках Листвянка и Большие Коты использовались данные по автономным гидрометеорологическим станциям ЛИН СО РАН. Из-за отсутствия нормирования содержания нефтепродуктов в атмосферных осадках степень их загрязнения оценивалась относительно предельно-допустимой концентрации, составляющей $0,05 \text{ мг/дм}^3$ и применяемой для водоемов рыбохозяйственного назначения. Контроль качества результатов анализа проводился с использованием государственного стандартного образца и поверенного измерительного оборудования.

Результаты и обсуждение

Концентрации НП в атмосферных осадках за исследуемый период на станциях изменялись в диапазоне от $0,006$ до $0,49 \text{ мг/дм}^3$ при среднем значении $0,076 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 2). Наиболее высокие показатели отмечены в Иркутске ($0,017$ – $0,49 \text{ мг/дм}^3$, среднее $0,12 \text{ мг/дм}^3$), что характерно для крупных городов и обусловлено высокой антропогенной нагрузкой. Близки по значениям концентрации нефтяных углеводородов (от $0,020$ до $0,42 \text{ мг/дм}^3$) в атмосферных осадках г. Барнаула, отобранных с марта по октябрь [Оценка поступления нефтяных ... , 2017]. На прибрежных станциях концентрации НП были в 2–10 раз ниже: в Листвянке $0,007$ – $0,18 \text{ мг/дм}^3$ (среднее $0,062 \text{ мг/дм}^3$), в Байкальском заповеднике $0,006$ – $0,11 \text{ мг/дм}^3$ (среднее $0,023 \text{ мг/дм}^3$), в Больших Котах $0,010$ – $0,021 \text{ мг/дм}^3$ (среднее $0,014 \text{ мг/дм}^3$). При этом видно, что снег загрязнен НП значительно выше, чем дождевые воды, что во многом связано с отопительным сезоном и неблагоприятными условиями рассеивания примесей.

Более низкое содержание НП в атмосферных осадках на станциях в Байкальском заповеднике и в Больших Котах объясняется их удаленностью от промышленных объектов Иркутской области и Бурятии и отсутствием своих крупных источников загрязнения воздуха.

Из-за отсутствия нормирования содержания нефтепродуктов в атмосферных осадках степень их загрязнения оценивалась относительно ПДК_{р/х}¹, составляющей $0,05 \text{ мг/дм}^3$. В исследованных пробах максимальные концентрации НП наблюдались в осадках в осенне-зимний период. Превышение данной нормы отмечено в Иркутске (в 1,1–9,8 раза) и Листвянке (в 1,2–3,6 раза). В Байкальском заповеднике превышение ПДК_{р/х} в 1,2 и 2,2 раза имело место в двух пробах, а на станции в Больших Котах обнаружено не было. Это связано как с низким количеством осадков в этот период (см. рис. 2 и [Аргучинцева, Латышева, Голубева, 2018]), так и с увеличением объема выбросов от предприятий теплоэнергетики во время отопительного сезона. В это время концентрация НП в осадках в среднем в 5–7 раз выше в сравнении с теплым временем года, что характерно и для других регионов России [Оценка поступления нефтяных ... , 2017].

¹ Предельно допустимые концентрации для водоемов рыбохозяйственного назначения.

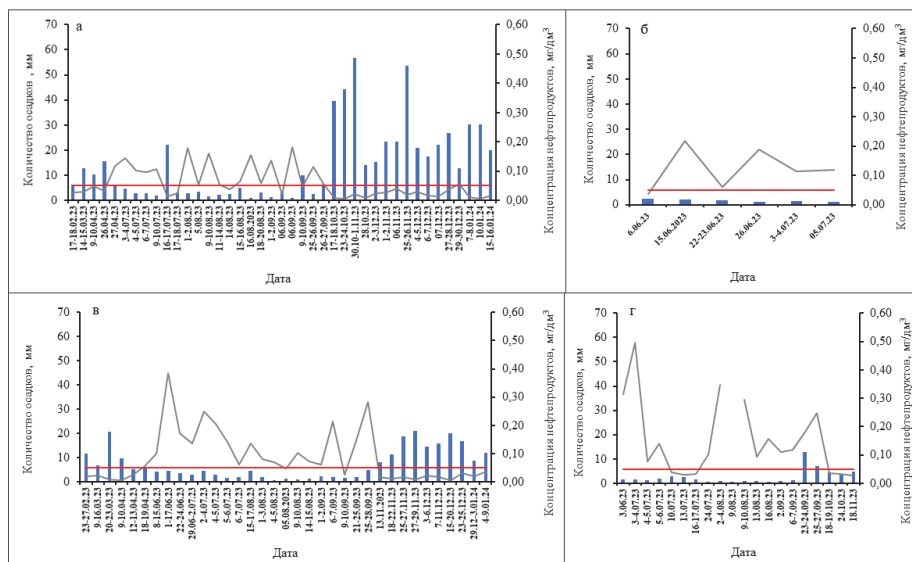


Рис. 2. Динамика содержания нефтепродуктов (мг/дм^3 , синие столбики), ПДК_{р/х} (мг/дм^3 , красная линия) и количества атмосферных осадков (мм, черная линия) на станциях мониторинга: г. Иркутск (а), пос. Большие Коты (б), пос. Листвянка (в), Байкальский заповедник (з) в 2023 г.

Полученные данные по содержанию нефтепродуктов в снежном покрове, в атмосферных осадках и количеству выпадающей влаги позволяют рассчитать потоки поступления этих веществ и оценить поступление НП в озеро из атмосферы (табл. 1). При этом видно, что более интенсивные потоки НП летом в пос. Листвянка (рис. 3) объясняются как близостью г. Иркутска, так и рекреационной нагрузкой с большим количеством автотранспорта [Воложжина, Новикова, Ясько, 2017; Соколова, Челпанова, Левашев, 2022] и прогулочных судов. Уровень загрязненности осадков в районе пос. Танхой несколько повышен из-за близости Транссибирской железнодорожной магистрали и федеральной автотрассы, а также влияния региональных промышленных источников загрязнения. В этом плане станция в пос. Большие Коты, находящаяся в стороне от туристических объектов и наземной транспортной инфраструктуры, представляется наиболее репрезентативной.

Таблица 1

Содержание нефтепродуктов в атмосферных осадках и их потоки на подстилающую поверхность в 2023 г.

| Пробы осадков | Усредненные концентрации НП, мг/дм^3 | Количество осадков, мм | Сезонные потоки НП, мг/м^2 | Суммарный поток НП, мг/м^2 |
|---------------|---|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Иркутск | | | | |
| Дождь | 0,024 | 416 | 9,98 | 38,8 |
| Снег | 0,16 | 180 | 28,8 | |

Окончание табл. 1

| Пробы осадков | Усредненные концентрации НП, мг/дм ³ | Количество осадков, мм | Сезонные потоки НП, мг/м ² | Суммарный поток НП, мг/м ² |
|---|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Листвянка | | | | |
| Дождь | 0,028 | 381,5 | 10,7 | 15,3 |
| Снег* | 0,098 | 47 | 4,6 | |
| Большие Коты | | | | |
| Дождь | 0,014 | 304 | 4,26 | 8,0 |
| Снег* | 0,08 | 47 | 3,76 | |
| Байкальский заповедник в районе пос. Танхой | | | | |
| Дождь | 0,021 | 704 | 14,8 | 21,2 |
| Снег* | 0,037 | 173 | 6,4 | |

*Сумма за октябрь – декабрь.

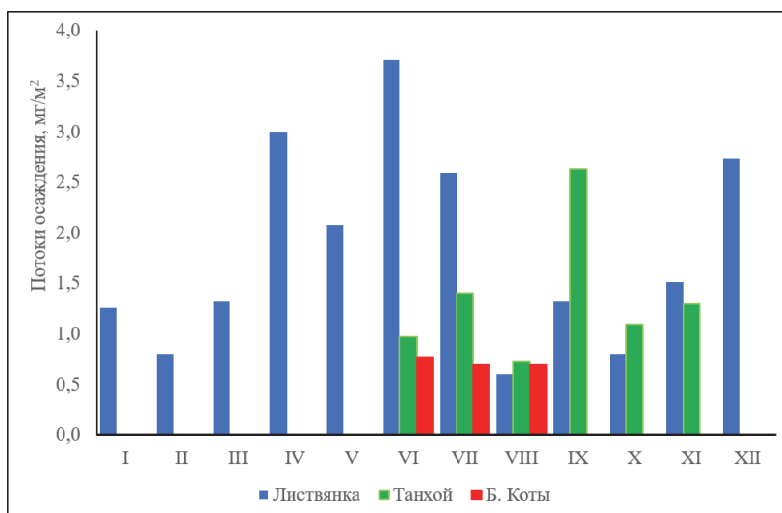


Рис. 3. Усредненные за месяц поступления нефтепродуктов (мг/м²) на трех станциях отбора проб атмосферных осадков в районе Южного Байкала в 2023 г.

Выполненное ранее [Аргучинцев, Макухин, 1999] моделирование распространения нефтепродуктов в Прибайкалье указывает на доминирующую роль в загрязнении атмосферы над Южным Байкалом локальных источников и автотранспорта Слюдянки и Байкальска, однако в целом выбросы нефтепродуктов от региональных источников Иркутской области и Бурятии вследствие удаленности и наличия орографических препятствий существенного влияния на Байкал не оказывают. Это подтверждается и материалами снегосъемки со льда Байкала [Petroleum products in ... , 2023], где уровни накопления нефтепродуктов в 20–70 раз были ниже, чем в промышленных центрах. Ориентируясь на потоки нефтепродуктов с атмосферными осадками в пос. Большие Коты, можно полагать, что на водную поверхность Южного Байкала в 2023 г. из атмосферы поступило порядка 59,5 т/год нефтепродуктов. С учетом накопления НП в снеге на льду Байкала в конце зимы, составляю-

щим по данным [Petroleum products in ... , 2023] 3,4 т/год, общий поток нефтепродуктов на акваторию Южного Байкала составляет порядка 63 т/год, что в пересчете на всю площадь Байкала соответствует поступлению НП в озеро в объеме 254 т/год. В действительности объемы поступления нефтяного загрязнения должны быть несколько ниже, так как при таянии снега часть нефтепродуктов испаряется. Потери НП из снежного покрова имеют место и при отрицательных температурах воздуха. Это подтверждают исследования [Немировская, 2004] в северной части Баренцева моря, где содержание нефтепродуктов в снеге, отобранном в первые часы снегопада, составляло 0,046 мг/дм³, а впоследствии в сформировавшемся снежном покрове изменялось уже в интервале 0,008–0,016 мг/дм³. Из данных [Яковенко, Котова, Калашников, 2022] также видно, что в начале зимы концентрации нефтепродуктов в снежном покрове в некоторые годы в 2–3 раза выше, чем в конце периода снегозалегаания. Однако оценка интенсивности обратного потока НП из снега в атмосферу малоизучена и требует постановки специальных исследований.

Заключение

В целом выполненные исследования показали, что наибольшие концентрации нефтепродуктов в атмосферных осадках характерны для осенне-зимних месяцев и связаны в основном с низким количеством выпавших осадков и с началом отопительного сезона. В этот период года содержание НП в осадках Иркутска достигало 10, а в Листвянке 2–3 ПДК_{р/х}. На станции в Байкальском заповеднике отмечено единичное превышение ПДК_{р/х}, а в Больших Котах случаи загрязнения осадков и в снеговой воде выше принятых норм не отмечены.

Ограниченность продолжительности исследований одним годом со своей спецификой погодных условий и загрязненности воздуха позволяет лишь с большим приближением говорить о том, что объем поступления нефтепродуктов на акваторию оз. Байкал в составе атмосферных осадков находится на уровне 200–250 т/год, что сопоставимо с данными [Зилов, 2013]. Для более достоверных выводов необходимо продолжение начатых исследований с расширением числа станций мониторинга и увеличением числа отобранных проб.

Список литературы

Аргучинцев В. К., Макухин В. Л. Моделирование распределения углеводородов в пограничном слое атмосферы Южного Прибайкалья // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12, № 6. С. 544–546.

Аргучинцева А. В., Латышева И. В., Голубева Л. В. Многолетний режим атмосферных осадков в г. Иркутске // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 23, № 2. С. 3–16. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.3>

Ахтиманкина А. В. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 21, № 2. С. 15–27.

Вологжина С. Ж., Новикова С. А., Ясько Ф. М. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на территории туристско-рекреационной зоны побережья озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 22, № 3. С. 15–29.

Зилов Е. В. Современное состояние антропогенного воздействия на озеро Байкал // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2013. №. 4(6). С. 388–404.

Майсюк Е. П. Роль энергетики в экологическом состоянии Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2017. №. 1. С. 100–107.

Немировская И. А. Углеводороды в океане (снег – лед – вода – взвесь – донные осадки). М. : Научный мир, 2004. 328 с.

Нефтепродукты в озере Байкал и его притоках / И. И. Мариняйге, Л. М. Сороковикова, В. Н. Синюкович [и др.] // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 3. С. 316–324. <https://doi.org/10.31857/S0321059622030105>

Оценка поступления нефтяных углеводородов с территории города Барнаула в природные водотоки / О. М. Лабузова, Т. В. Носкова, М. С. Лысенко [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 3. С. 48–54. <https://doi.org/10.17076/lim497>

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. Л. В. Боевой. Ростов н/Д : НОК, 2009. Ч. 1. 1045 с.

Соколова Н. А., Челпанова И. А., Леваишев А. Г. Исследование параметров транспортного потока и посетителей туристического поселка Листвянка Иркутского района // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 3-3. С. 230–234. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-3-3-230-234>

Яковенко А. А., Котова Е. И., Калашиников А. В. Взвесь и нефтяные углеводороды в снежном покрове арктического нефтяного месторождения // Успехи современного естествознания. 2022. № 2. С. 91–96.

Agency for Toxic Substances & Disease Registry. Toxic substances portal–Total petroleum hydrocarbons (TPH). Toxicological profile for total petroleum hydrocarbons. 2018. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=424&tid=75#bookmark10> (date of access: 12.02.2021).

Ali A. S., Al-Khafaji B. Y., Al-Gezi H. R. Comparative study of hydrocarbon pollution before and after rainfall in Al-Gharraf River in Ti-Qar province-Iraq // IOP Conf. Ser. J. Phys. 2019. Vol. 1279, Is. 8. P. 1–13. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1279/1/012029>

Collection and Use of Total Petroleum Hydrocarbon Data for the Risk-Based Evaluation of Petroleum Releases, Example Case Studies (updated October 2018) / Department of Health, Hazard Evaluation and Emergency Response Ofce. Honolulu : HIDOH, 2018. 133 p.

Determination of total petroleum hydrocarbons in Australian groundwater through the improvised gas chromatography-flame ionization detection technique / M. V. Faustorilla, Z. Chen, R. Dharmarajan [et al.] // Chromatogr. Sci. 2017. Vol. 55, Is. 8. P. 775–783. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmx038.2017>

Fractioning of petroleum hydrocarbons from seeped oil as a factor of purity preservation of water in Lake Baikal (Russia) / A. G. Gorshkov, O. N. Pavlova, O. M. Khlystov [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46, Is. 1. P. 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.10.010>

Impact of Total Petroleum Hydrocarbons on human health / S. Kuppasamy, N. R. Maddela, M. Megharaj [et al.] // Total Petroleum Hydrocarbons. Springer Publ., 2020. P. 139–165. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24035-6>

Ogoko E. C., Kelle H. I. Anions, total petroleum hydrocarbons and aromatic hydrocarbons in soils of Aba Dumpsites. Br. J. Appl. Sci. Technol. 2016. Vol. 14, Is. 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/22084>.

Petroleum products in the snow cover of the Baikal natural area / I. I. Marinaite, Ye. V. Molozhnikova, M. Yu. Shikhovtsev [et al.] // Proc. SPIE, 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2023. Art. 127801K. <https://doi.org/10.1117/12.2685153>

References

Arguchintsev V.K., Makukhin V.L. Modelirovanie raspredeleniya uglevodorodov v pogranichnom sloe atmosfery Yuzhnogo Pribaikaliya [Modeling the distribution of hydrocarbons in the atmospheric boundary layer of the Southern Baikal region]. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean], 1999, vol. 12, no. 6, pp. 544–546. (in Russian)

Arguchintseva A.V., Latysheva I.V., Golubeva L.V. Mnogoletnii rezhim atmosferykh osadkov v g. Irkutске [Long-term precipitation regime in Irkutsk]. *Izvestiya Irkutskogo gosudar-*

svennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle [The bulletin of Irkutsk state university. Series: Earth sciences], 2018, vol. 23, no. 2, pp. 3-16. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.23.3>. (in Russian)

Akhtimankina A. V. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhha vybrosami promyshlennykh predpriyatii Irkutskoi oblasti [Atmospheric air pollution by emissions from industrial enterprises in the Irkutsk region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2017, vol. 21, no. 2, pp. 15-27. (in Russian)

Vologzhina S. Zh., Novikova S. A., Yas'ko F. M. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhha vybrosami avtomobil'nogo transporta na territorii turistsko-rekreatsionnoi zony poberezh'ya ozera Baikal [Atmospheric air pollution by emissions from motor vehicles on the territory of the tourist and recreational zone of the coast of Lake Baikal]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [The bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2017, vol. 22, no. 3, pp. 15-29. (in Russian)

Zilov E.V. Sovremennoe sostoyanie antropogennogo vozdeistviya na ozero Baikal [The Present State of Human Impact on Lake Baikal]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Biology], 2013, vol. 4, no. 6, pp. 388-404. (in Russian)

Maisyuk E.P. Rol energetiki v ekologicheskom sostoyanii Baikal'skoi prirodnoi territorii [The role of energy in the ecological state of the Baikal natural territory]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2017, no. 1, pp. 100-107. (in Russian)

Nemirovskaya I.A. *Uglevodorody v okeane (sneg-led-voda-vzves-donnye osadki)* [Hydrocarbons in the ocean (snow-ice-water-suspension-bottom sediments)]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2004, 328 p. (in Russian)

Marinaite I.I., Sorokovikova L.M., Sinyukovich V.N. et al. Nefteprodukty v ozere Baikal i ego pritokakh [Petroleum products in Lake Baikal and its tributaries]. *Vodnye resursy* [Water resources], 2022, vol. 49, no. 3, pp. 316-324. <https://doi.org/10.31857/S0321059622030105> (in Russian)

Labuzova O. M., Noskova T.V., Lysenko M.S. et al. Otsenka postupleniya neftyanykh uglevodorodov s territorii goroda Barnaula v prirodnye vodotoki [Assessment of the flow of petroleum hydrocarbons from the territory of the city of Barnaul into natural watercourses]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 3, pp. 48-54. <https://doi.org/10.17076/lim497> (in Russian)

Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guide lines of the Chemical Analysis of Surface Inland Water]. Rostov-na-Dony, NOK Publ., 2009, part 1, 1045 p. (in Russian)

Sokolova N.A., Chelpanova I.A., Levashev A.G. Issledovanie parametrov transportnogo potoka i posetitelei turistskogo poselka Listvyanka Irkutskogo raiona [Study of parameters of traffic flow and visitors of the tourist village Listvyanka of the Irkutsk region]. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International journal of humanitarian and natural sciences], 2022, no. 3-3, pp. 230-234. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-3-3-230-234>. (in Russian)

Yakovenko A.A., Kotova E.I., Kalashnikov A.V. Vzves' i neftyanye uglevodorody v snezhnom pokrove arkticheskogo nefyanogo mestorozhdeniya [Suspension and petroleum hydrocarbons in the snow cover of an Arctic oil field]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern science], 2022, no. 2, pp. 91-96. (in Russian)

Agency for Toxic Substances & Disease Registry. Toxic substances portal–Total petroleum hydrocarbons (TPH). *Toxicological profile for total petroleum hydrocarbons*. 2018. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=424&tid=75#bookmark10> (date of access: 12.02.2021)

Ali A.S., Al-Khafaji B.Y., Al-Gezi H.R. Comparative study of hydrocarbon pollution before and after rainfall in Al-Gharraf River in Ti-Qar province–Iraq. *IOP Conf. Ser. J. Phys.*, 2011, vol. 279, pp. 1-13. [https://doi.org/10.1088/1742-6596/1279/1/012029\(9\)](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1279/1/012029(9))

Collection and Use of Total Petroleum Hydrocarbon Data for the Risk-Based Evaluation of Petroleum Releases, Example Case Studies (updated October 2018), Department of Health, Hazard Evaluation and Emergency Response Ofce. Honolulu, HIDO, 2018, 133 p.

Faustorilla M. V., Chen Z., Dharmarajan R., Naidu R. Determination of total petroleum hydrocarbons in Australian groundwater through the improvised gas chromatography-flame ionization detection technique. *J. Chromatogr. Sci.*, 2017, vol. 55, no. 8, pp. 775–783. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmx038.2017>

Gorshkov A.G., Pavlova O.N., Khlystov O.M., Zemskaya T.I. Fractioning of petroleum hydrocarbons from seeped oil as a factor of purity preservation of water in Lake Baikal (Russia). *Jour-*

nal of Great Lakes Research., 2020, vol. 46, no. 1, pp. 115-122.
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.10.010>

Kuppusamy S., Maddela N. R., Megharaj M., Venkateswarlu K. Impact of Total Petroleum Hydrocarbons on human health. In Total Petroleum Hydrocarbons. Springer publ., 2020, pp. 139-165. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24035-6>

Ogoko E. C., Kelle H. I. Anions, total petroleum hydrocarbons and aromatic hydrocarbons in soils of Aba Dumpsites. *Br. J. Appl. Sci. Technol.*, 2016, vol. 14, no. 1, pp. 1–8. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/22084>

Marinaite I.I., MolozhnikovaYe. V., Shikhovtsev M. Yu. et al. Petroleum products in the snow cover of the Baikal natural area. Proc. SPIE, 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 2023, Art. 12341-19. <https://doi.org/10.1117/12.2685153>

Сведения об авторах

Маринайте Ирина Иозовна

кандидат химических наук, старший
научный сотрудник, лаборатории
гидрохимии и химии атмосферы
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
e-mail: marin@lin.irk.ru

Нецветаева Ольга Григорьевна

кандидат географических наук,
научный сотрудник, лаборатории
гидрохимии и химии атмосферы
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
e-mail: r431@lin.irk.ru

Потёмкин Владимир Львович

кандидат географических наук, старший
научный сотрудник, лаборатории
гидрохимии и химии атмосферы
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
e-mail: klimat@lin.irk.ru

Синюкович Валерий Николаевич

кандидат географических наук, старший
научный сотрудник, лаборатории
гидрологии и гидрофизики
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
e-mail: sin@lin.irk.ru

Information about the authors

Marinaite Irina Iozovna

Candidate of Sciences (Chemistry),
Senior Research Scientist, Laboratory of
Hydrochemistry and Atmospheric Chemistr
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: marin@lin.irk.ru

Netsvetaeva Olga Grigorievna

Candidate of Sciences (Geography), Research
Scientist, Laboratory of Hydrochemistry and
Atmospheric Chemistry
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: r431@lin.irk.ru

Potemkin Vladimir Lvovich

Candidate of Sciences (Geography),
Senior Research Scientist, Laboratory of
Hydrochemistry and Atmospheric Chemistry,
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail : klimat@lin.irk.ru

Sinyukovich Valery Nikolaevich

Candidate of Sciences (Geography),
Senior Research Scientist, Laboratory of
Hydrology and Hydrophysics
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: sin@lin.irk.ru

Код научной специальности: 1.6.16

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 12.12.2024; принята к публикации 13.12.2024

The article was submitted August, 12, 2024; approved after reviewing December, 12, 2024; accepted for publication December, 11, 2024