

УДК 504.3.054

ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ АТМОСФЕРНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РТУТИ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Л.В. Колотушкина, С.С. Эйрих, Т.С. Папина

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул,
E-mail: lilichkashol661@gmail.com, steyrikh@gmail.com, tanya.papina@mail.ru*

Для оценки уровня загрязнения ртутью атмосферы Алтайского края проводился отбор и анализ проб атмосферного воздуха непосредственно in-situ с использованием портативного анализатора РА-915М в разные сезоны года. Влияние антропогенной нагрузки от городов изучали, отбирая пробы воздуха как на урбанизированных территориях (г. Камень-на-Оби, г. Барнаул, г. Бийск), так и в фоновых районах. Содержание элементарной ртути (Hg^0) во всех пробах не превышали среднегодовых ПДК для атмосферного воздуха городских и сельских поселений. Для Алтайского края средний региональный уровень концентраций атомарной ртути в приземном слое атмосферы составил 1.54 ± 0.25 нг/м³, при этом рассчитанные нами среднегодовые региональные уровни для фоновых, городских и сельских территорий составили 1.25 нг/м³, 1.5 нг/м³ и 1.6 нг/м³, соответственно, что находится в диапазоне концентраций типичном для Северного полушария (1.3–1.6 нг/м³). Была выявлена следующая сезонная динамика концентраций: в зимний период наблюдалось увеличение концентрации Hg^0 во всех точках наблюдения, причем наиболее ярко оно проявилось на городских территориях (города Барнаул, Бийск, Камень-на-Оби), что связано с увеличением выбросов ртути при сжигании угля на ТЭЦ в течение отопительного сезона. В весенний период (март) дополнительно к поступлению ртути в атмосферу за счет сжигания угля добавляется активная десорбция ртути из снежного покрова под воздействием солнечной радиации, что наблюдалось как для урбанизированных, так и фоновых территорий. Минимальными концентрациями ртути характеризовался летний период, особенно в период дождей, когда ртуть интенсивно вымывается влажными атмосферными выпадениями. Было также показано, что межгодовая (для 2-х лет) сезонная вариабельность концентраций ртути не превышала 9% для городских районов и 13% для фоновых территорий.

Ключевые слова: элементарная газообразная ртуть; загрязнение атмосферного воздуха, городские, сельские и фоновые территории; сезонная вариабельность; Алтайский край.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-16905

Дата поступления: 5.04.2023. Принята к печати: 28.04.2023

Ртуть (Hg) — токсичный металл, который встречается в земной коре в низких концентрациях. Она обладает уникальными физико-химическими свойствами: имеет более низкую температуру плавления (-39°C) и более низкую температуру кипения (357°C), чем любой другой металл. Благодаря этому ртуть является летучей при комнатной температуре и может находиться в атмосфере в виде газообразной элементарной ртути (Hg^0) [Wängberg et al., 2016], являясь единственным элементом, который при нормальных температурах встречается в виде атомарного газа. Находящаяся в воздухе ртуть в основном состоит из Hg^0 ($>98\%$), небольшого количества газообразной окисленной ртути (Hg^{2+}), т. е. двухвалентных газообразных соединений ртути, а также ртути, связанной с твердыми частицами (HgP) [Schiavo et al., 2022]. Пространственная и временная изменчивость уровней ртути в масштабах полушарий, региональные и фоновые уровни ртути определяются содержанием Hg^0 , которая является доминирующей формой атмосферной ртути, устойчива в атмосфере долгое время (до года и более) и может транспортироваться на большие расстояния, до того, как окислится и покинет атмосферу в результате влажного или сухого осаждения [Schroeder, Munthe, 1998; Angot et al., 2016; Obrist et al., 2017].

В настоящее время большинство систематических исследований потоков элементарной газообразной ртути выполнены преимущественно в Северной Америке (55.6%), Азии (25.1%) и Европе (12.8%) [Agnan et al., 2016] в рамках сетей мониторинга GMOS (Глобальная система

наблюдения за ртутью), AMNet (сеть атмосферной ртути), ЕМЕР (Европейская программа мониторинга и оценки), АРММН (Азиатско-Тихоокеанская сеть мониторинга ртути) [Sprovieri et al., 2016; AMAP/UN Environment., 2019], в то время как большие территории остаются малоизученными, в том числе и территория России, где расположена только одна станция мониторинга GMOS — в пос. Листвянка [Mashyanov et al., 2021], при этом сезонные многолетние исследования — также ограничены (около 5% от общего количества исследований) [Agnan et al., 2016].

Материалы и методы

Изучаемая нами территория Алтайского края является равнинной, постепенно повышающейся с северо-запада на юго-восток. Климат Алтайского края — резко континентальный. Алтайский край находится почти в центре Евразийского материка, поэтому в теплое время года суша хорошо прогревается. Июль — самый жаркий месяц в году ($t \geq 30$). На равнинах лето наступает во второй половине мая и длится до середины сентября. Зима — самый длинный сезон года, она длится от 5 до 7 месяцев (с ноября по апрель). Устойчивый снежный покров образуется в начале ноября, а январь — самый холодный месяц ($t_{\text{среднемес}} \approx -20^{\circ}\text{C}$). Весна в крае начинается в марте/апреле, тогда же происходит период обильного таяния снега. Весной преимущественно господствуют юго-западные ветры, приносящие засушливую погоду. Осень наступает в октябре (самый дождливый месяц) с холодными ветрами. После установления ясной погоды

температура понижается и держится отрицательная в течение дня и ночи [Харламова, 2013]. Для оценки уровней загрязнения ртутью атмосферного воздуха на территории Алтайского края был проведен отбор и анализ проб атмосферного воздуха в различные сезоны года с марта 2021 г. по март 2022 г. Всего за год было проведено 7 экспедиционных выездов и выполнены измерения атмосферной ртути в воздухе в 17 точках (рис.1а). Влияние антропогенной нагрузки от городов изучали, отбирая пробы воздуха в черте городов Барнаул, Бийск, Камень-на-Оби и на прилегающих к ним территориях. Для определения регионального уровня ртути отбирали воздух в следующих районах: у села Фоминское (р. Обь, место слияния рек Бии и Катунь), Ануй, Чарыш, Алей

(средние притоки изучаемого участка Оби, ближе к их устью). Таким образом, всего было отобрано 157 единичных проб атмосферного воздуха.

В работе использовали анализатор газообразной ртути РА-915М (ГК «Люмэкс», Россия), являющийся портативным прибором, подходящим для полевых условий (рис.1б). Комбинация многоходовой кюветы с зеэмановской коррекцией неселективного поглощения делает возможным непрерывное измерение фоновой концентрации ртути в окружающем воздухе в режиме реального времени. Определение концентраций ртути проводили с использованием методики М 03-06-2004 «Прямое определение содержания ртути в воздухе населенных мест, жилых помещений и рабочей зоны».

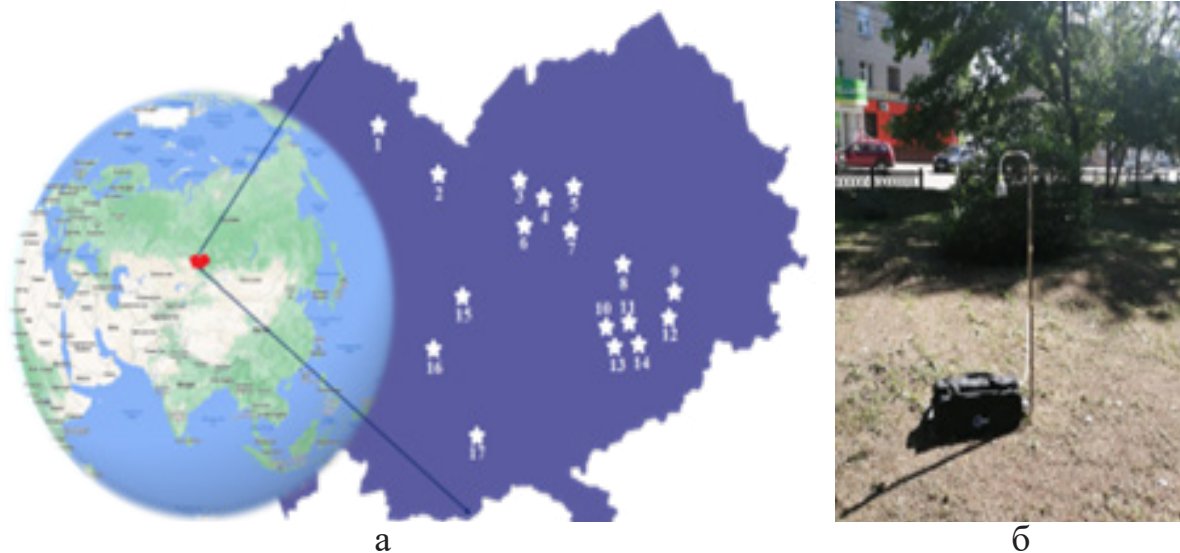


Рис. 1. Отбор проб воздуха

а – Местоположение точек отбора: 1 – Камень-на-Оби, 2 – Касмала, 3 – Гоньба, 4 – Барнаул, 5 – Санниково, 6 – Борзовая Заимка, 7 – Рассказиха, 8 – Троицкое, 9 – Бочкари, 10 – Песчаное, 11 – Бийск, 12 – Сверхково, 13 – Фоминское, 14 – Ануй, 15 – Большепанюшево, 16 – Алей, 17 – Чарыш;

б – Газоанализатор ртути РА-915М

Fig. 1. – Air sampling

a – sampling location map: 1 – Kamen-na-Obi, 2 – Kasmala, 3 – Gonba, 4 – Barnaul, 5 – Sannikovo, 6 – Borzovaya Zaimka, 7 – Rasskazikha, 8 – Troitskoye, 9 – Bochkari, 10 – Peschanoe, 11 – Biysk, 12 – Sverchkovo, 13 – Fominsky, 14 – Anui, 15 – Bolshepanyushevo, 16 – Aley, 17 – Charysh;

b – The mercury analyzer RA-915M

Отбор проб проводили на открытой, хорошо проветриваемой площадке с непылящим покрытием (асфальт, грунт, газон) на высоте от 1.3 м до 1.5 м. Анализируемый воздух проходил через аналитическую кювету со скоростью 10 л/мин. Отбор и анализ паров ртути в атмосферном воздухе осуществлялся в режиме «Мониторинг» в течение 10 минут три раза подряд с сохранением результатов во встроенную память анализатора. Контроль нуля производился через каждые 5 минут анализа. Предел обнаружения ртути составил 0.5 нг/м³.

Результаты и обсуждение

Концентрации атмосферной ртути в исследуемых точках на территории Алтайского края, полученные в ходе экспедиционных работ в период с марта 2021 г. по март 2022 г., представлены в таблице.

Диапазоны изменения концентраций для городских, сельских и ряда фоновых районов существенно не отличаются: все значения не превышают среднесуточного ПДК в воздухе населенных пунктах (0.0003 мг/м³) [СанПиН 1.2.3685-21] и находятся в диапазоне естественных содержаний ртути в незагрязненной атмосфере (1–3 нг/м³) [Agnan et al., 2016]. Среднегодовые концентрации атмосферной ртути в фоновых точках и вблизи сельских поселений находятся на сопоставимом уровне, а в некоторых точках (Борзовая Заимка, Чарыш, Бочкари, Троицкое) несколько выше значений, зафиксированных для городских территорий, что показывает отсутствие значительного антропогенного загрязнения ртутью в черте городов, а также существенных региональных и локальных источников загрязнения

ртутью на территории Алтайского края. На городских территориях наибольшие средние концентрации Hg⁰ зафиксированы в г. Бийск и прилегающих к нему территориях; наименьшие концентрации – в районе городов Барнаул и Камень-на-Оби, хотя наиболее высокие максимальные разовые концентрации наблюдались в черте г. Барнаула (до 6.2 нг/м³).

Для Алтайского края рассчитанный нами средний региональный уровень атомарной ртути в приземном слое атмосферы составил 1.54±0.25 нг/м³ и находится в диапазоне концентраций типичном для Северного полушария (1.3–1.6 нг/м³) [AMAP/UN Environment, 2019]. Для сравнения средняя общая концентрация Hg⁰ за 10 лет наблюдений (2011–2020 гг.) в пос. Листвянка составляла 1.59 нг/м³ [Mashyanov et al., 2021], что также находится на сопоставимом с нашими результатами уровне. В целом, в фоновых точках (Гоньба, Алей, Касмала) наблюдаются более низкие концентрации ртути по сравнению с городскими [Шоль и др., 2022], как в теплый, так и в холодный периоды года. На рис. 2 для примера представлены средние концентрации Hg⁰ в воздухе городских и фоновых территорий Алтайского края в марте 2021 г. (весенний период, отличающийся повышенными концентрациями ртути).

Среднегодовые концентрации Hg⁰ в воздухе урбанизированных территорий края составили 1.4–1.5 нг/м³, что сопоставимо с результатами для других изученных регионов мира [Fu et al., 2012; McLagan et al., 2018; Millir et al., 2021, Civerolo et al., 2014] (рис. 3) и не превышает фоновых уровней загрязнения ртутью атмосферы Северного полушария [Outridge et al., 2018].

Таблица

Диапазон варьирования и среднегодовые концентрации атмосферной ртути
на территории Алтайского края

Table

Range of variation and average annual concentrations of atmospheric mercury
in the Altai Region

Точка отбора	Хср, нг/м ³	Хмин, нг/м ³	Хмакс, нг/м ³	SD, нг/м ³
г. Барнаул	1.39	0.43	3.05	0.17
г. Камень-на-Оби	1.37	0.73	2.28	0.14
г. Бийск	1.53	1.03	2.45	0.14
Касмала	1.18	0.32	1.88	0.15
Гоньба	1.28	0.09	2.81	0.15
Санниково	1.49	0.62	2.14	0.16
Борзовая Заимка	1.48	1.05	2.08	0.18
Рассказиха	1.60	1.36	1.92	0.12
Троицкое	1.68	1.25	1.99	0.17
Бочкари	1.87	1.35	2.18	0.17
Песчаное	1.62	1.05	2.19	0.18
Сверчково	1.45	1.09	1.95	0.17
Фоминское	1.43	0.64	2.26	0.17
Ануй	1.45	1.09	1.95	0.17
Большепанюшево	1.52	1.12	1.83	0.17
Алей	1.23	0.71	1.97	0.31
Чарыш	1.95	1.69	2.35	0.12

Анализ сезонной изменчивости содержания атмосферной ртути в воздухе некоторых населенных пунктов (как урбанизированных, так и фоновых территорий), изученных в течение одного года (2021–2022 гг.) показал (рис. 4), что в зимний период наблюдается увеличение средней концентрации Hg⁰ во всех точках наблюдения Алтайского края, которое наиболее выражено на городских территориях (города Барнаул, Бийск, Камень-на-Оби) в результате увеличения выбросов ртути за счет сжигания угля на ТЭЦ в холодный период. В весенний период (март) дополнительно к поступлению ртути в атмосферу за счет сжигания угля

добавляется активная десорбция ртути под воздействием солнечной радиации, что наблюдается как на урбанизированных, так и фоновых территориях. Минимальными концентрациями ртути характеризуется летний период, особенно в период дождей, когда ртуть интенсивно вымывается влажными атмосферными выпадениями [Converse et al., 2010]. Для городов Алтайского края концентрация ртути изменяется от 1.23 нг/м³ до 1.55 нг/м³ в теплый и холодный сезоны соответственно, что сопоставимо с сезонными изменениями, зафиксированными на станции Листвянка (от 1.2 до 1.7 нг/м³) [Машьянов и др., 2015].

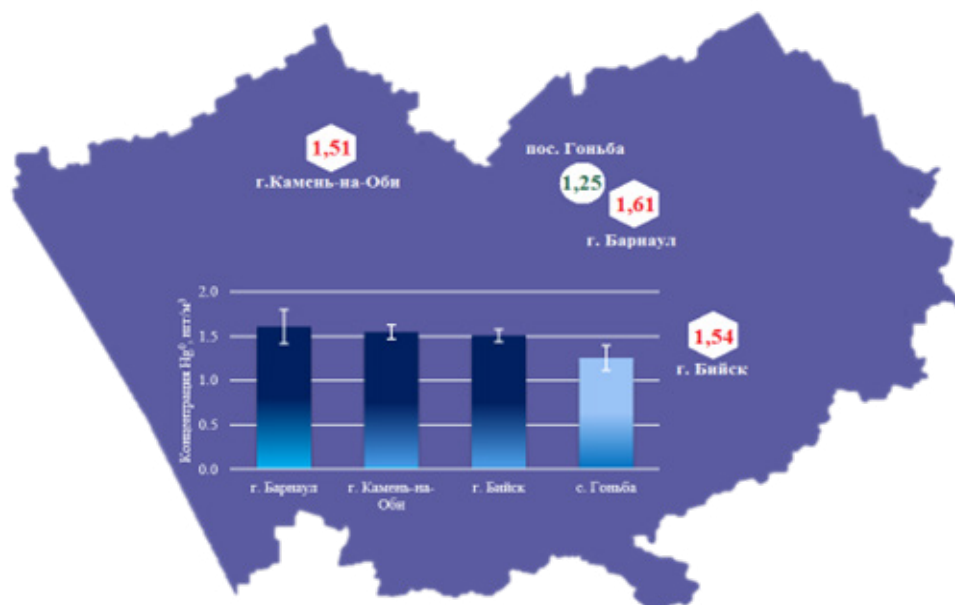


Рис. 2. Концентрации Hg (нг/м^3) в воздухе городских (шестиугольники) и фоновых территорий (кружочек) Алтайского края в марте 2021 г.

Fig. 2. Hg concentrations (ng/m^3) in the air of urban (hexagons) and background areas (circles) of Altai region in March 2021

Для оценки межгодовой сезонной вариабельности нами были рассмотрены март 2021 г. и март 2022 г. Пробы атмосферного воздуха были отобраны в период максимального снегозапаса перед снеготаянием при аналогичных условиях: в марте температура окружающей среды начинает

повышаться, увеличивая реэмиссию ртути из снежного покрова в атмосферу. Межгодовая вариабельность концентраций элементарной газообразной ртути, рассчитанная нами для двух лет для урбанизированных территорий, не превышала 9%, для удаленных фоновых районов – 13%.

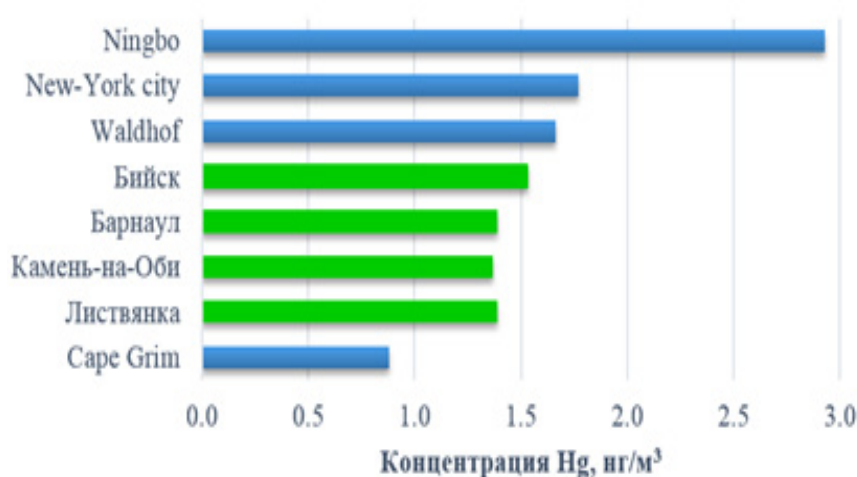


Рис. 3. Сравнение содержания атмосферной ртути в воздухе населенных пунктов Алтайского края с другими регионами мира

Fig. 3. Comparison of the atmospheric mercury concentrations in the ambient air of the Altai region settlements with other regions of the world

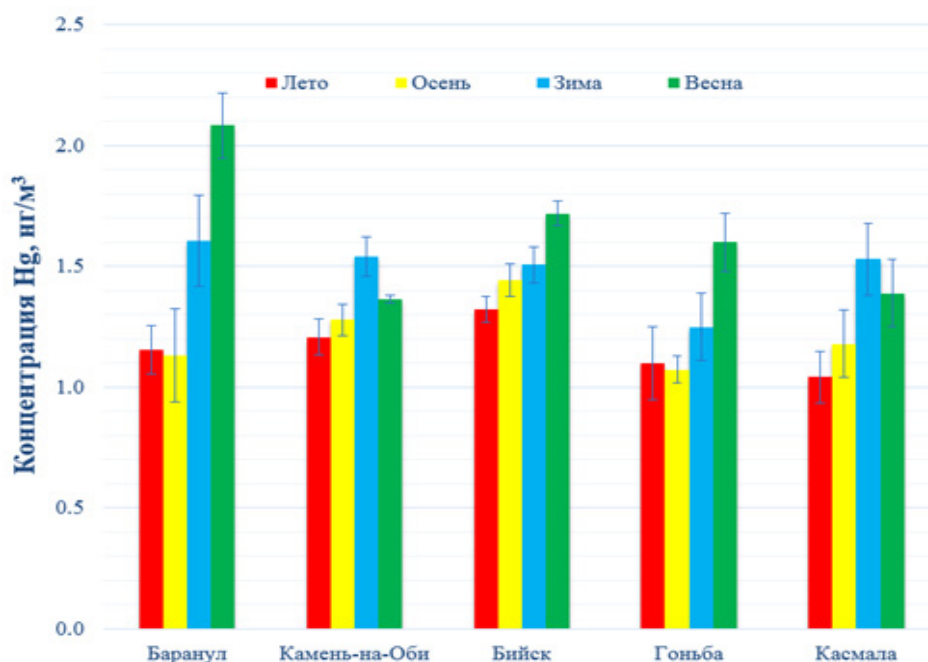


Рис. 4. Сезонное распределение ртути в атмосферном воздухе некоторых населенных пунктов Алтайского края

Fig. 4. Seasonal distribution of mercury in the atmosphere of some settlements of the Altai region

Закключение

Диапазоны изменения концентраций элементарной ртути для городских, сельских и ряда фоновых районов существенно не отличаются: все значения находятся в диапазоне естественных содержаний ртути в незагрязненной атмосфере (1–3 нг/м³). Среднегодовой региональный фон ртути в приземном слое атмосферы для фоновых, городских и сельских территорий составил 1.25 нг/м³, 1.5 нг/м³ и 1.6 нг/м³ соответственно, при этом средний региональный уровень для Алтайского края в целом составил 1.54 ± 0.25 нг/м³.

Среднегодовые концентрации Hg в воздухе городов Алтайского края сопоставимы с ее концентрациями в воздухе других изученных районов мира.

В целом, в фоновых точках наблюдаются более низкие концентрации ртути по сравнению с городскими как в теплый, так и в холодный периоды года.

Минимальными концентрациями ртути характеризуется летний период, особенно в период дождей. В зимний период наблюдается увеличение концентрации Hg⁰ в результате ее поступления при сжигании угля на ТЭЦ и котельных в холодный период. В весенний период добавляется поступление ртути вследствие ее десорбции из снежного покрова под воздействием солнечной радиации, что наблюдается как на урбанизированных, так и фоновых территориях. Межгодовая сезонная вариабельность концентраций ртути для двух лет была незначительна (менее 13%).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that he has no conflict of interest.

Авторы выражают благодарность к.б.н. А.В. Котовицкову за помощь в проведении экспедиционных работ. Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Оценка сезонных особенностей атмосферного поступления и последующего распределения загрязняющих веществ на водосборной площади ключевых участков бассейна Оби в зависимости от природно-климатических условий»).

Список литературы

М 03-06-2004 «Прямое определение содержания ртути в воздухе населенных мест, жилых помещений и рабочей зоны». Введ. 30.07.2009. Санкт-Петербург. 2009. 9 с.

Машьянов, Н.Р., Оболкин, В.А., Ходжер, Т.В., Шолупов, С.Е., Рыжов, В.В., Погарев, С.Е. Проект GMOS (Global Mercury Observation System). Мониторинг атмосферной ртути на станции Листвянка // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. ИНХ СО РАН, 2015. С. 258–261.

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». 2021. 135 с.

Харламова Н. Ф. Климат Алтайского региона. 2013. 106 с.

Шоль Л.В., Эйрих С.С., Ильина Е.Г. Сравнительная оценка содержания элементарной газообразной ртути в воздухе городских территорий Алтайского края // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Бийск, 2022. С. 114–117.

Agnan Y., Le Dantec T., Moore C.W., Edwards G.C., Obrist D. New constraints on terrestrial surface–atmosphere fluxes of gaseous elemental mercury using a global database // Environmental science and technology. 2016. Vol. 50. №. 2. P. 507–524. doi: 10.1007/s10533-022-01004-9

AMAP/UN Environment. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme. Environment Programme. Chemicals and Health Branch. Geneva, 2019. 426 p

Angot H., Dastoor A., De Simone F., Gårdfeldt K., Gencarelli C.N., Hedgecock I.M. et al. Chemical cycling and deposition of atmospheric mercury in polar regions: review of recent measurements and comparison with models // Atmospheric Chemistry and Physics. 2016. Vol. 16. No. 16. P. 10735–10763. doi: 10.5194/acp-16-10735-2016

Civerolo K.L., Rattigan O.V., Felton H.D., Hirsch M.J., DeSantis S. Mercury wet deposition and speciated air concentrations from two urban sites in New York state: temporal patterns and regional context // Aerosol and Air Quality Research. 2014. Vol. 14. No. 7. P. 1822–1837. doi: 10.4209/aaqr.2014.03.0052

Converse A.D., Riscassi A.L., Scanlon T.M. Seasonal variability in gaseous mercury fluxes measured in a high-elevation meadow // Atmospheric Environment. 2010. Vol. 44. No. 18. P. 2176–2185. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.03.024

Fu X., Feng X., Sommar J., Wang S. A review of studies on atmospheric mercury in China //

- Science of the Total Environment. 2012. Vol. 421. P. 73–81. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.09.089
- Mashyanov N., Obolkin V., Pogarev S., Ryzhov V., Sholupov S., Potemkin V., Molozhnikova E., Khodzher T. Air Mercury Monitoring at the Baikal Area. // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. 807 p.
- McLagan D.S., Mitchell C.P., Steffen A., Hung H., Shin C., Stupple G.W. et al. Global evaluation and calibration of a passive air sampler for gaseous mercury // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018. Vol. 18. No. 8. P. 5905–5919. doi: 10.5194/acp-18-5905-2018
- Miller M.B., Howard D.A., Pierce A.M., Cook K.R., Keywood M. et al. Atmospheric reactive mercury concentrations in coastal Australia and the Southern Ocean // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 751. P. 141681. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141681
- Obrist D., Agnan Y., Jiskra M., Olson C.L., Colegrove D.P., Hueber J. et al. Tundra uptake of atmospheric elemental mercury drives Arctic mercury pollution // *Nature*. 2017. Vol. 547. No. 7662. P. 201–204. doi: 10.1038/nature22997
- Outridge P.M., Mason R.P., Wang F., Guerrero S., Heimbürger-Boavida L.E. Updated global and oceanic mercury budgets for the United Nations Global Mercury Assessment 2018 // *Environmental science and technology*. 2018. Vol. 52. No. 20. P. 11466–11477. doi: 10.1021/acs.est.8b01246
- Schiavo B., Morton-Bermea O., Salgado-Martínez E., García-Martínez R., Hernández-Álvarez E. Health risk assessment of gaseous elemental mercury (GEM) in Mexico City // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. Vol. 194. No. 7. P. 456. doi: 10.1007/s10661-022-10107-7
- Schroeder W.H., Munthe J. Atmospheric mercury – an overview // *Atmospheric environment*. 1998. Vol. 32. No. 5. P. 809–822. doi: 10.1016/S1352-2310(97)00293-8
- Sprovieri F., Pirrone N., Bencardino M., D’Amore F., Carbone F., Cinnirella S., Mannarino V., Landis M., et al. Atmospheric mercury concentrations observed at ground-based monitoring sites globally distributed in the framework of the GMOS network. // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 16. P. 11915–11935. doi: 10.5194/acp-16-11915-2016
- Wängberg I., Nerentorp Mastromonaco M.G., Munthe J., Gårdfeldt K. Airborne mercury species at the Råö background monitoring site in Sweden: distribution of mercury as an effect of long-range transport // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 21. P. 13379–13387. doi: 10.5194/acp-2016-526

References

- M 06-03-2004 “Direct determination of mercury content in the west of settlements, residential premises and working areas”. Introduction 07/30/2009 - St. Petersburg. 2009. 9 p.
- Mashyanov N.R., Obolkin V.A., Khodger T.V., Sholupov S.E., Ryzhov V.V., Pogarev S.E. GMOS project (Global Mercury Monitoring System). Mercury atmosphere monitoring at Listvyanka station // *Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects*. INC SB RAS, 2015. P. 258–261.
- SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for the safety and (or) harmlessness of the environment for humans.” 2021. 135 p.

Kharlamova N.F. Climate of the Altai region. 2013. 106 p.

Shol L.V., Eyrikh S.S., Ilyina E.G. Comparative assessment of the content of elemental gaseous mercury in the air of urban areas of the Altai Territory // Technologies and equipment for the chemical, biotechnological and food industry Proceedings of the XV All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists with international participation. Biysk. 2022. P. 114–117.

Agnan Y., Le Dantec T., Moore C.W., Edwards G.C., Obrist D. New constraints on terrestrial surface–atmosphere fluxes of gaseous elemental mercury using a global database // Environmental science and technology. 2016. Vol. 50. №. 2. P. 507–524. doi: 10.1007/s10533-022-01004-9

AMAP/UN Environment. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme. Environment Programme. Chemicals and Health Branch. Geneva, 2019. 426 p

Angot H., Dastoor A., De Simone F., Gårdfeldt K., Gencarelli C.N., Hedgecock I.M. et al. Chemical cycling and deposition of atmospheric mercury in polar regions: review of recent measurements and comparison with models // Atmospheric Chemistry and Physics. 2016. Vol. 16. No. 16. P. 10735–10763. doi: 10.5194/acp-16-10735-2016

Civerolo K.L., Rattigan O.V., Felton H.D., Hirsch M.J., DeSantis S. Mercury wet deposition and speciated air concentrations from two urban sites in New York state: temporal patterns and regional context // Aerosol and Air Quality Research. 2014. Vol. 14. No. 7. P. 1822–1837. doi: 10.4209/aaqr.2014.03.0052

Converse A.D., Riscassi A.L., Scanlon T.M. Seasonal variability in gaseous mercury fluxes measured in a high-elevation meadow // Atmospheric Environment. 2010. Vol. 44. No. 18. P. 2176–2185. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.03.024

Fu X., Feng X., Sommar J., Wang S. A review of studies on atmospheric mercury in China // Science of the Total Environment. 2012. Vol. 421. P. 73–81. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.09.089

Mashyanov N., Obolkin V., Pogarev S., Ryzhov V., Sholupov S., Potemkin V., Molozhnikova E., Khodzher T. Air Mercury Monitoring at the Baikal Area. // Atmosphere. 2021. Vol. 12. 807 p.

McLagan D.S., Mitchell C.P., Steffen A., Hung H., Shin C., Stupple G.W. et al. Global evaluation and calibration of a passive air sampler for gaseous mercury // Atmospheric Chemistry and Physics. 2018. Vol. 18. No. 8. P. 5905–5919. doi: 10.5194/acp-18-5905-2018

Miller M.B., Howard D.A., Pierce A.M., Cook K.R., Keywood M. et al. Atmospheric reactive mercury concentrations in coastal Australia and the Southern Ocean // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 751. P. 141681. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141681

Obrist D., Agnan Y., Jiskra M., Olson C.L., Colegrove D.P., Hueber J. et al. Tundra uptake of atmospheric elemental mercury drives Arctic mercury pollution // Nature. 2017. Vol. 547. No. 7662. P. 201–204. doi: 10.1038/nature22997

Outridge P.M., Mason R.P., Wang F., Guerrero S., Heimbürger-Boavida L.E. Updated global and oceanic mercury budgets for the United Nations Global Mercury Assessment 2018 // Environmental science and technology. 2018. Vol. 52. No. 20. P. 11466–11477. doi: 10.1021/acs.est.8b01246

Schiavo B., Morton-Bermea O., Salgado-Martínez E., García-Martínez R., Hernández-Álvarez E. Health risk assessment of gaseous elemental mercury (GEM) in Mexico City // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. Vol. 194. No. 7. P. 456. doi: 10.1007/s10661-022-10107-7

Schroeder W.H., Munthe J. Atmospheric mercury – an overview // *Atmospheric environment*. 1998. Vol. 32. No. 5. P. 809–822. doi: 10.1016/S1352-2310(97)00293-8

Sprovieri F., Pirrone N., Bencardino M., D'Amore F., Carbone F., Cinnirella S., Mannarino V., Landis M., et al. Atmospheric mercury concentrations observed at ground-based monitoring sites globally distributed in the framework of the GMOS network. // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 16. P. 11915–11935. doi: 10.5194/acp-16-11915-2016

Wängberg I., Nerentorp Mastromonaco M.G., Munthe J., Gårdfeldt K. Airborne mercury species at the Råö background monitoring site in Sweden: distribution of mercury as an effect of long-range transport // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 21. P. 13379–13387. doi: 10.5194/acp-2016-526

STUDY OF SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF ATMOSPHERIC MERCURY CONCENTRATIONS ON THE TERRITORY OF THE ALTAI REGION

L.V. Kolotushkina, S.S. Eyrikh, T.S. Papina

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: lilichkashol661@gmail.com, steyrikh@gmail.com, tanya.papina@mail.ru

Mercury in ambient air of the Altai region was study in different seasons of the year to assess the level of atmospheric mercury pollution in the study area. Ambient air sampling and real-time air mercury measurements were carried out using the portable mercury analyzer RA-915M. The anthropogenic influence from cities was studied by taking ambient air samples both in urban (Kamen-na-Obi, Barnaul, Biysk) and in background areas. The content of elemental mercury (Hg^0) in all air samples did not exceed the average annual MAC (Maximum allowable concentration) for mercury in the air of urban and rural settlements. For the Altai Territory, the average regional level of atmospheric mercury concentrations was 1.54 ± 0.25 ng/m³, while the average annual regional levels calculated for background, urban and rural areas were 1.25 ng/m³, 1.5 ng/m³ and 1.6 ng/m³, respectively, and all values are in the concentration range typical for the Northern Hemisphere (1.3–1.6 ng/m³). The following seasonal dynamics of Hg^0 concentrations was revealed: in winter, the concentration increase was observed at all observation points, and the most pronounced it was in urban areas (Barnaul, Biysk and Kamen-na-Obi cities), which is associated with an increase in Hg emissions from thermal power plant coal combustion during the heating season. In spring (on March) additionally active desorption of Hg^0 from the snow cover under the influence of solar radiation is observed both for urbanized and background areas. The summer period is characterized by the minimal Hg^0 concentrations, especially in the rainy season, when elemental mercury

transformed into ionic mercury and washed out by wet deposition. It was also shown that the interannual (for 2 years) seasonal variability of mercury concentrations does not exceed 9% and 13% for urban and background areas, respectively.

Keywords: elemental gaseous mercury; atmospheric pollution, urban, rural and background areas; seasonal variability; Altai region.

Received April 5, 2023. Accepted: April 28, 2023

Сведения об авторах

Колотушкина Лилия Вячеславовна – аспирант, младший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-2594-0659. E-mail: lilichkashol661@gmail.com.

Эйрих Стелла Сергеевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-9346-2068. E-mail: steyrikh@gmail.com.

Папина Татьяна Савельевна – доктор химических наук, начальник химико-аналитического центра Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-8388-7289. E-mail: tanya.papina@mail.ru.

Information about authors

Kolotushkina Liliya Vyacheslavovna – first-year postgraduate student, junior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-2594-0659. E-mail: lilichkashol661@gmail.com.

Eyrikh Stella Sergeevna – PhD in Chemistry, senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-9346-2068. E-mail: steyrikh@gmail.com.

Papina Tatyana Savelyevna – Dr Sc. in Chemistry, Head of the Chemical Analytical Center of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-8388-7289. E-mail: tanya.papina@mail.ru.