

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358

EDN: UAVVSF

УДК 551.578.46:546.49(571.62)

Научная статья / Research article

Ртуть в снежном покрове Хабаровска

О.С. Хомченко  , **А.Г. Новороцкая** 

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский
Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской
академии наук, обособленное подразделение Институт водных и экологических
проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН),
Хабаровск, Российская Федерация*
 homchenko.ru@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований содержания общей ртути в снежном покрове г. Хабаровска, сформировавшемся в зимний период 2021–2022 годов. Отмечена связь ртути со взвешенными веществами, переход из которых в растворенную фазу незначителен. Содержание общей ртути в нерастворимом остатке находилось в диапазоне от 0,3 до 1,4 мг/кг. Выявлен участок на северной границе Большехехцирского заповедника с высоким содержанием Hg – 3 мг/кг, превышающим ПДК для почв в 1,4 раза, что, вероятно, явилось следствием кратковременного локального загрязнения, возможно, трансграничного происхождения. Осаждение Hg на земную поверхность в составе твердых атмосферных выпадений на данном участке составило 37,5 мкг/м², при средних значениях 10...18 мкг/м². Максимум – 73,9 мкг/м² был отмечен в районе ТЭЦ-3 и обусловлен наличием в снежном покрове большого количества продуктов горения. Количество твердых атмосферных выпадений в районе ТЭЦ-1 также значительно превышало средние значения, однако это не привело к увеличению общего количества ртути, поступившей на поверхность. Минимальное осаждение Hg отмечено в набережной парковой зоне города – 3,2 мкг/м².

© Хомченко О.С., Новороцкая А.Г., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: снегосъемка, ртуть, снежный покров, взвешенные вещества, продукты горения

Вклад авторов: О.С. Хомченко – определение концентрации ртути; А.Г. Новороцкая – проведение снегосъемки, определение взвешенных веществ.

История статьи: поступила в редакцию 15.11.2022; доработана после рецензирования 20.02.2023; принята к публикации 25.05.2023.

Для цитирования: Хомченко О.С., Новороцкая А.Г. Ртуть в снежном покрове Хабаровска // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 349–358. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358>

Mercury concentration in the snow cover of the city of Khabarovsk

Olga S. Khomchenko  , Alexandra G. Novorotskaya 

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Water and Ecology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP FEB RAS), Khabarovsk, Russian Federation
 homchenko.ru@mail.ru

Abstract. The research reveals results of studies of the total mercury content in the snow cover of Khabarovsk in winter period 2021–2022. Researchers highlight a connection between mercury and non-soluble residue, with minor transition into soluble phase. The total mercury content in the non-soluble residue ranged from 0.3 to 1.4 mg/kg. On the northern border of the Bolshekhokhtsirsky Reserve, area with high content of quicksilver (3 mg/kg) was found, which exceeds the maximum permissible concentration by 1.4 times. Authors consider that high concentration of quicksilver may be a result of short-term local pollution and do not exclude cross-border origin of it. Content of mercury as a part of solid atmospheric precipitation on the Earth's surface in this area is 37.5 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, with average values of 10–18 $\mu\text{g}/\text{m}^2$. The maximum content of mercury (73.9 $\mu\text{g}/\text{m}^2$) was found nearby CHP-3 area. The reason is a high concentration of combustion products in snow cover. The amount of solid atmospheric precipitation in the area of CHP-1 also significantly exceeded the average values, but this did not lead to an increase in the total amount of mercury that reached the surface. The minimum concentration of quicksilver was found in the embankment park area of the city – 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Keywords: snow photography, mercury, snow cover, suspended substances, gorenje products

Authors' contributions: O.S. Khomchenko – determination of mercury concentration; A.G. Novorotskaya – conducting snow's cover height and density, determination of suspended substances.

Article history: received 15.11.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.05.2023.

For citation: Khomchenko OS, Novorotskaya AG. Mercury concentration in the snow cover of the city of Khabarovsk. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):349–358. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358>

Введение

Снежный покров – универсальный объект исследований, позволяющий оценить состояние атмосферы, выявить не только вещества постоянно присутствующие в воздухе, но и появляющиеся эпизодически как результат периодических или катастрофических выбросов, ближнего или дальнего атмосферного переноса, выявление которых возможно лишь при постоянном мониторинге, являющемся весьма сложной и трудоемкой задачей.

Изучение состава снежного покрова как часть мониторинга загрязнения атмосферы в настоящее время весьма широко распространено. Изучение снежного покрова Хабаровска проводится ИВЭП ДВО РАН в течение ряда лет [1]. Однако, исследованию содержания ртути не уделялось должного внимания. Объем и скорость осаждения ртути из атмосферы как в виде влажных выпадений, так и в виде сухого осаждения, сильно варьируют в зависимости от множества факторов [2], что обуславливает необходимость проведения мониторинговых исследований, в том числе локальных, в целях своевременного выявления возрастания ртутного фона, а также появления новых источников загрязнений.

Среднее содержание ртути в углях, как каменных, так и бурых, составляет порядка 0,1 г/т, за исключением аномальных ртутоносных углей, обнаруженных в некоторых районах России, Украины, США и Китая, [3], в углях Хабаровского края выше – 0,4 г/т, существующие темпы его потребления ежегодно поставляют в атмосферу РФ от 10 до 13 тонн ртути [4]. Высока доля углей в энергетической составляющей Хабаровска и бытовых системах отопления города и пригорода. Кроме того, для ртути характерно наличие дальнего атмосферного переноса, что, учитывая близость границ с КНР – одной из стран с крупнейшим выбросом ртути [5], может являться дополнительным источником ртутного загрязнения атмосферы.

Характеристика района исследований

Хабаровск является краевым центром с населением 617 тыс. человек, расположен в зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей. Климат умеренный, муссонный. Наиболее продолжительным сезоном года является зима. Устойчивый снежный покров устанавливается в середине ноября. Самый холодный месяц январь со средней температурой $-21,6$ °С. Средняя скорость ветра в зимний период (ноябрь – март) составляет 4,7 м/с. Преобладающими направлениями ветра являются юго-западное и западное [6]. Зима 2021–2022 гг. установилась в обычные сроки, сумма выпавших осадков превысила таковую

за предыдущий пятилетний период в 1,5 раза, а средняя температура составила $-13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, против $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ¹.

Поступление загрязняющих веществ в атмосферу Хабаровска только от стационарных источников в 2021 году составило 38,414 тыс. тонн². Основными из них являются объекты теплоэнергетики – структурные подразделения АО ДГК филиала «Хабаровская генерация»: «Хабаровская ТЭЦ-1», «Хабаровская ТЭЦ-3», а также нефтеперерабатывающий завод – АО «ННК-Хабаровский НПЗ». Некоторый вклад вносят маломощные автономные котельные и, расположенные на окраинах города и в ближайшем пригороде, малоэтажные дома с автономным угольным и дровяным отоплением.

ТЭЦ-3 самая крупная и самая молодая электростанция Хабаровского края и вторая по мощности тепловая электростанция на Дальнем Востоке России. Основное топливо – каменный уголь, природный газ, мазут. Три из четырех энергоблоков ТЭЦ-3 работают на угле. В основном используются угли Нерюнгринского месторождения, в последние годы стали использовать угли Ургальского месторождения и иногда – угли из Китая с месторождений провинции Хэйлунцзян. Плановый перевод на газ должен завершиться через три года [7].

ТЭЦ-1 в качестве топлива использует природный газ сахалинских месторождений, а также каменный и бурый уголь различных месторождений (чаще всего Ургальского и Переяславского). В результате поэтапного перевода на природный газ, потребление угля с 2006 по 2018 год сократилось втрое. В настоящее время сооружения и оборудование Хабаровской ТЭЦ-1 устарели и достигли высокой степени износа. Модернизация станции признана нецелесообразной, в 2020-х годах планируется вывод её из эксплуатации со строительством на той же площадке замещающей Хабаровской ТЭЦ-4.³

На обследованных ТЭЦ сжигание углей происходит при температуре 1100–1600 °С. На ТЭЦ-1 золоулавливание – мокрое на скрубберах с трубами Вентури, на ТЭЦ-3 – сухое на электрофилтрах. Количество золы уноса в зависимости от типа котлов, вида топлива и режима его сжигания может составлять 70...85 % от массы смеси, шлака – 10...20 % [7].

Материалы и методы

Пробы снежного покрова (СП) отобраны 2–3 марта 2022 года в период максимального влагозапаса с помощью весового снегомера ВС-43 согласно

¹ Погода и климат. Справочно-информационный портал. Режим доступа: http://www.pogodaiklimat.ru/history/31735_2.htm (дата обращения: 29.12.2022).

² Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2021 году». Режим доступа: <https://mpr.khabkrai.ru/Deyatelnost/Ekologiya/Gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayuschej-sredy-Nabarovskogo-kraja> (дата обращения: 29.12.2022).

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15.07.2019 № 1544-р. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907170007?index=1&rangeSize=1> (дата обращения: 29.12.2022).

РД 52.04.186-89 с участков с разной интенсивностью антропогенной нагрузки. Условно их можно разделить на следующие зоны.

Зона промышленного техногенного воздействия. Точка № 1 (район ТЭЦ-3, 48.571715° N, 135.143285° E) расположена в 400 м к западу от ТЭЦ-3, характеризуется сильным загрязнением снежного покрова сажистыми частицами, из-за которых профиль СП имеет слоистую окраску. Средняя высота СП – 42 см, плотность – 0,17 г/см³.

Точка № 2 (район ТЭЦ-1, 48.410403° N, 135.118544° E) расположена в 200 м к югу от ТЭЦ-1, характеризуется умеренным загрязнением снежного покрова со слабо выраженной слоистостью профиля. Средняя высота СП – 49 см, плотность – 0,22 г/см³.

Точка № 3 (район НПЗ, 48.493285° N, 135.040061° E) расположена в 350 м к юго-западу от нефтеперерабатывающего завода и в 150 м к северо-востоку от берега Амура. Средняя высота СП – 40 см, плотность – 0,24 г/см³.

Зона жилой застройки. Точка № 4 (48.488518° N, 135.080751° E) расположена во дворе жилого дома, экранируется от оживленных улиц 5-этажными постройками, промышленных предприятий поблизости нет. Средняя высота СП – 50 см, плотность – 0,24 г/см³.

Парковая зона. Точка № 5 (район детского санатория, 48.529152° N, 135.029209° E) расположена в 600 м к северо-востоку от берега Амура, от которого экранируется лесопарковой зоной. Рядом проходит автомобильная дорога. Промышленных предприятий поблизости нет. Средняя высота СП – 41 см, плотность – 0,22 г/см³.

Точка № 6 (район парка «Динамо», 48.483493° N, 135.076957° E) расположена в 70 м к юго-востоку от ул. Муравьева-Амурского (главной улицы города), от которой не экранируется. Средняя высота СП – 45 см, плотность – 0,22 г/см³.

Точка № 7 (район парка «ЦПКО», 48.471992° N, 135.054385° E) расположена в 170 м к северо-востоку от берега Амура. Средняя высота СП – 50 см, плотность – 0,19 г/см³.

Береговая зона. Точка № 8 (48.546253° N, 135.016174° E) расположена в 100 м к востоку от берега Амура, в 850 м к северу от автомобильно-железнодорожного моста. Средняя высота СП – 31 см, плотность – 0,19 г/см³.

Точка № 9 (р. Амур, лед 48.546508° N, 135.013296° E) расположена в 200 м к западу от точки № 8. Средняя высота СП – 32 см, плотность – 0,22 г/см³.

Пробы СП были расплавлены при комнатной температуре и профильтрованы через бумажный фильтр «синяя лента». Определение содержания растворенной ртути проведено согласно ПНД Ф 14.1:2:4.271-2012 (М 01-52-2012), взвешенных веществ – по РД 52.24.468-2019, содержание ртути во взвешенном веществе – по М 03-09-2013. Исследования выполнены на анализаторе ртути РА-915+ в Центре экологического мониторинга ИВЭП ДВО РАН.

Результаты и обсуждение

Содержание растворенных форм ртути в точке № 1 (ТЭЦ-3) составило $11,4 \pm 2,3$ нг/дм³, что незначительно превысило ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов⁴, составляющую 0,00001 мг/дм³, и значительно ниже ПДК для вод иного назначения – 0,0005 мг/л⁵. На других исследованных участках концентрация растворенной ртути не превышала предела количественного определения методики – 10 нг/дм³. В районе Томской ГРЭС-2 среднее содержание ртути в талой снеговой воде также было очень низким – 8,4 нг/дм³ [8]. В провинции Хэйлунцзян (КНР) на участке, наиболее приближенном к Хабаровску и имеющем сходные климатические условия, содержание растворенной ртути в снежном покрове в 2018 г. находилось в пределах 75...95 нг/л, что выше, чем на западе Китая. Авторы связывают это с особенностями местной промышленности, большую долю в которой составляют угольные электростанции и котельные [9].

Количество взвешенных веществ (ВВ) в СП было сходным между большинством контрольных точек города и изменялось в пределах 166...281 мг/дм³. Значительно отличались лишь зона центрального парка, где содержание взвешенных веществ составило 71 мг/дм³ и районы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3 с содержанием 625 и 1935 мг/дм³ соответственно (таблица).

Содержание взвешенных веществ и ртути в снежном покрове

Район исследования	Точка отбора	Содержание			Твердые атмосферные выпадения, г/м ²	Поступление Hg на поверхность, мкг/м ²
		ВВ в СП, мг/дм ³	Hg во ВВ СП, мкг/кг	общей Hg, нг/дм ³		
Промышленная зона	№ 1	1935	687±172	1329	107,6	73,9
	№ 2	625	344±86	215	51,3	17,6
	№ 3	236	1029±257	243	17,6	18,1
Жилая зона	№ 4	200	629±157	126	19,1	12,0
Парковая зона	№ 5	253	825±206	210	18,3	15,1
	№ 6	166	885±221	147	12,2	10,8
	№ 7	71	605±151	43	5,4	3,2
Береговая зона	№ 8	227	1396±349	279	11,4	15,9
	№ 9	281	992±248	317	11,6	11,5
Загородная зона	№ 10	82	1065±266	87	6,0	6,4
	№ 11	138	3036±759	419	12,4	37,5

Примечание. ВВ – взвешенное вещество в снежном покрове, мг/дм³, СП – снежный покров, содержание ртути во взвешенном веществе в снежном покрове, мкг/кг.

⁴ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 29.12.2022).

⁵ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов внешней среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 29.12.2022).

Высокое содержание взвешенных веществ в СП в районе ТЭЦ-3 свидетельствует о значительном поступлении в атмосферу твердых продуктов горения. Общее количество твердых атмосферных выпадений в зимний период 2021–2022 гг. в районе ТЭЦ-3 было максимальным среди всех исследованных участков и составило $107,6 \text{ г/м}^2$, что в 7,8 раза больше среднего по городу и в 2,1 раза больше, чем в районе ТЭЦ-1. Последнее, вероятно, обусловлено использованием разного вида топлива. Расчетное валовое количество ртути в СП составило от 43 до 1329 нг/дм^3 . Исследования снежного покрова Хабаровска, сформировавшегося зимой 2018–2019 гг.⁶, показали еще более высокое содержание общей ртути в районе ТЭЦ-3 – $3,44 \text{ мкг/дм}^3$.

Содержание Hg во взвешенном веществе снежного покрова было достаточно высоким, даже в парковой и жилой зонах – $605\text{--}885 \text{ мкг/кг}$, и превосходило таковое в промышленной зоне Усолье-Сибирского ($0,6 \text{ мг/кг}$)⁷ и Томска ($0,21 \text{ мг/кг}$)⁸. Сопоставимая концентрация была выявлена и в районе ТЭЦ-3 – 687 мкг/кг . Минимальное количество (344 мкг/кг) определено в районе ТЭЦ-1. Ранее сходные концентрации были отмечены для окрестностей Томской ГРЭС-2 [8] и для г. Благовещенска, где среднее содержание ртути в нерастворимой фракции снега составило $0,136 \text{ мг/кг}$. В зависимости от направления и удаления от ТЭЦ концентрации возрастали до 20 раз по сравнению с фоновыми – от $0,021 \text{ мг/кг}$ до $0,410 \text{ мг/кг}$ [9]. В 2018–2019 гг. в твердом остатке снежного покрова Хабаровска содержание ртути было гораздо более низким: ТЭЦ-1 – $0,12 \text{ мг/кг}$, ТЭЦ-3 – $0,06 \text{ мг/кг}$, НПЗ – $0,02 \text{ мг/кг}$ [10]. Выявленные нами концентрации Hg превосходили их в районе ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3 – в 5,7 раза, в районе НПЗ – в 51 раз. Одной из причин столь значительного расхождения данных могут служить различия в условиях формирования СП. Зима 2018–2019 гг. была теплой и малоснежной. В таких условиях возрастает вклад частиц почвы, переносимых ветром с непокрытых снегом участков, в формирование состава нерастворимого осадка СП. Содержание ртути в почвах Хабаровска и ближайшего пригорода находится в пределах $0,012\text{--}0,112 \text{ мг/кг}$, при среднем значении $0,03\text{--}0,04 \text{ мг/кг}$ [11]. Зима 2021–2022 гг., напротив, была снежной и холодной, в связи с чем, нерастворимый осадок СП практически полностью формировался из атмосферных выпадений с высоким содержанием продуктов горения.

⁶ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15.07.2019 № 1544-р. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907170007?index=1&rangeSize=1> (дата обращения: 29.12.2022).

⁷ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 29.12.2022).

⁸ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов внешней среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 29.12.2022).

Для сравнения было исследовано содержание общей ртути во взвешенном веществе СП, отобранного в тот же период в двух точках, расположенных по северной границе Большехехцирского заповедника, территорию которого некоторые исследователи использовали в качестве фоновой [10, 15]. Точка № 10 (48.281528° N, 134.755951° E) расположена в устье ручья Соснинский. Средняя высота СП – 25 см, плотность 0,34 г/см³. Точка № 11 (48.295736° N, 134.808365° E) – река Быкова, в районе с. Бархатное. Средняя высота СП – 45 см, плотность – 0,26 г/см³. Расстояние между точками отбора – 4 км. Участки расположены к северо-востоку от Китая, в 5,5 и 8,5 км от русско-китайской границы, проходящей по острову Большой Уссурийский. Оба участка испытывают воздействие воздушных масс, приходящих с территории КНР во время преобладающих юго-западных ветров. Содержание взвешенных веществ в СП в точке № 11 было выше, чем в точке № 10 и составило 138 мг/дм³ против 82 мг/дм³. Содержание ртути во взвешенном веществе СП превысило таковое на участке № 10 почти в 3 раза и составило 3,03 мг/кг, что в 1,4 раза выше ПДК для почв. Вероятно, в данном районе присутствует локальный источник постоянного ртутного загрязнения или имел место значительный единичный выброс. В пользу последнего свидетельствуют данные о низком содержании ртути в твердом осадке снежного покрова зимой 2018–2019 гг. – 0,06 мг/кг [10].

Зимой 2021–2022 гг. поступление ртути на поверхность земли в составе твердых атмосферных выпадений в большинстве исследованных участков не превысило 20 мкг/м². Максимальное количество ртути (73,9 мкг/м²) поступило в районе ТЭЦ-3, что обусловлено значительным количеством взвешенных веществ. Кроме того, более высокий показатель (37,5 мкг/м²) отмечен для района р. Быкова, но здесь это связано с повышенным содержанием элемента во взвешенном веществе СП.

Заключение

Ртуть в снежном покрове Хабаровска связана со взвешенными веществами, переход из которых в растворенную фазу незначителен. Содержание растворенной ртути в снежном покрове не превысило 10 нг/дм³, за исключением участка в зоне влияния ТЭЦ-3, где оно составило 11,4 нг/дм³. Содержание ртути во взвешенном веществе снежного покрова в пределах Хабаровска изменялось в диапазоне от 0,3 до 1,4 мг/кг. Выявлен участок на северной границе Большехехцирского заповедника с содержанием ртути 3 мг/кг, что в 1,4 раза выше ПДК для почвы.

Список литературы

- [1] Новороцкая А.Г. О результатах химического мониторинга снежного покрова Хабаровска // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 374–379. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37023> (дата обращения: 29.12.2022).

- [2] *Lyman S.N., Cheng I., Gratz L.E., Weiss-Penzias P., Zhang L.* An updated review of atmospheric mercury // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 707, no. 135575. P. 1–20.
- [3] *Юдович Я.Э., Кемпис М.П.* Ртуть в углях – серьезная экологическая проблема // *Биосфера*. 2009. Т. 1, № 2. С. 237–247.
- [4] *Янин Е.П.* Эмиссия ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России // *Ресурсосберегающие технологии*. 2006. № 3. С. 3–14.
- [5] *Расуна Е.Г., Расуна Ж.М., Steenhuisen F., Wilson S.* Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000 // *Atmospheric Environment*. 2006. Vol. 40, no. 22. P. 4048–4063.
- [6] *Петров Е.С., Новороцкий П.В., Ленишин В.Т.* Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области // *Институт водных и экологических проблем ДВО РАН*. 2000. 174 с.
- [7] *Черепанов А.А., Кардаш В.Т.* Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) // *Технология и полезные ископаемые мирового океана*. 2009. № 2. С. 98–115.
- [8] *Поликанова С.А., Самохина Н.П., Филимоненко Е.А., Таловская А.В., Осипова Н.А.* Содержание фтора и ртути в жидкой фазе снегового покрова Томского региона // *Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты): молодежная конференция: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. Москва, 21–22 марта 2013 года. М.: РУДН, 2013. С. 336–338.
- [9] *Niu Z., Sun P., Li X., He Y., Huang C., He M-Y., Huang H., Wang N.* Spatial characteristics and geographical determinants of mercury and arsenic in snow in northeastern China // *Atmospheric Pollution Research*. 2020. Vol. 11, no. 11. P. 2068–2075.
- [10] *Голубева Е.М., Чурсина А.Д.* Распределение тяжелых металлов в снежном покрове г. Хабаровск // *Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы международной научно-практической конференции*. Грозный: Чеченский государственный педагогический университет, 2019. С. 89–94.
- [11] *Холодова М.С., Пастухов М.В., Бычинский В.А., Просекин С.Н., Белозерова О.Ю.* Минерально-вещественный состав твердого осадка снегового покрова в различных функциональных зонах г. Усолье-Сибирское // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 9. С. 219–230.
- [12] *Таловская А.В., Филимоненко Е.А.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снежного покрова // *Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты): Молодежная конференция: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. Москва, 21–22 марта 2013 года. М.: РУДН, 2013. С. 353–359.
- [13] *Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.* Динамика загрязнения в окрестностях предприятия теплоэнергетики на основе химического анализа снегового покрова (на примере ГРЭС-2 г. Томск) // *Сергеевские чтения: юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. Москва, 21 марта 2014 года. М.: РУДН, 2014. С. 491–496.

- [14] Юсупов Д.В., Радомская В.И., Павлова Л.М. Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле северо-западной промышленной зоны г. Благовещенска (Амурская область) // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 10. С. 906–910.
- [15] Чурсина А.Д. Содержание валовых форм ртути и свинца в твердом осадке снежного покрова Хабаровска // Современные технологии воспроизводства экологической среды на урбанизированных территориях: сборник докладов V Международной научно-практической студенческой конференции. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2020. С. 45–49.
- [16] Кошельков А.М., Матюшкина Л.А. Оценка химического загрязнения почв водохозяйственных зон малых рек города Хабаровска // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 76–85.

Сведения об авторах:

Хомченко Ольга Степановна, кандидат биологических наук, ведущий инженер, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), Российская Федерация, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56. ORCID: 0000-0003-1953-7249; eLIBRARY SPIN-код: 5599-0211. E-mail: homchenko.ru@mail.ru

Новороцкая Александра Григорьевна, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), Российская Федерация, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56. ORCID: 0000-0003-1938-5417; eLIBRARY SPIN-код: 4850-3467. E-mail: novag59@mail.ru