

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 556.535.8:546.49(571.62)

РТУТЬ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ РЕК г. ХАБАРОВСК

© 2022 г. О. С. Хомченко^{1,*}¹ Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Дикопольцева, 56, г. Хабаровск, 680021 Россия

*E-mail: homchenko.ru@mail.ru

Поступила в редакцию 17.01.2022 г.

После доработки 21.02.2022 г.

Принята к публикации 28.02.2022 г.

Представлены результаты исследований содержания общей ртути в донных отложениях малых рек г. Хабаровск и его окрестностей в весенне-летний период 2021 г. Показана временная и пространственная динамика изменения концентраций, обусловленная степенью освоенности и интенсивностью хозяйственного использования водосборной территории. Отмечено отсутствие связи между визуальным уровнем загрязнения вод и содержанием ртути в донных отложениях, а также между характером самих отложений. Под влиянием совокупности естественных и антропогенных факторов, содержание ртути в период исследования изменялось в широких пределах. Максимальные концентрации отмечены для рек Березовая — 226 мкг/кг (при среднем значении 164 мкг/кг) и Черная — 168 мкг/кг (при среднем значении 144 мкг/кг), которые помимо естественных стоков с прилегающих территорий принимают сточные воды очистных сооружений. Содержание ртути в донных отложениях рек, дренирующих малоосвоенные участки, несколько ниже, чем в почвах водоохраных зон. На участках, дренирующих хорошо освоенные территории, оно возрастает в 2–4 раза.

Ключевые слова: ртуть, донные отложения, малые реки, Хабаровск**DOI:** 10.31857/S086978092203002X

ВВЕДЕНИЕ

Природные объекты современных городов, в особенности промышленных, в той или иной степени испытывают антропогенную нагрузку, однако наибольший пресс приходится на малые реки. Они принимают поверхностные стоки с городских улиц, прилегающих промышленных и сельскохозяйственных территорий, бытовые стоки сельской застройки, которые содержат широкий спектр загрязняющих веществ, таких как антигололедные реагенты, нефтепродукты, удобрения и пестициды, моющие средства и т.д. Некоторые реки принимают очищенные сточные воды, а в случае аварийных ситуаций и несанкционированных сбросов — неочищенные стоки. Берега малых рек часто превращаются в свалки бытового и строительного мусора, также вносящего свой вклад в загрязнение водотоков. Во всем этом многообразии загрязняющих веществ присутствует, часто не замеченная, но одна из самых токсичных составляющих — ртуть.

Ртуть — вещество первого класса опасности, характеризуется не только высокой степенью токсичности, но и кумулятивным эффектом, отсроченным развитием симптомов отравления, тяжелым течением интоксикации, медленным выведением из организма. Ее содержание подде-

жит контролю и нормируется во многих объектах окружающей среды: различных типах вод, почве, воздухе [10, 14]. Одним из объектов, для которого в нашей стране до настоящего времени не установлены ПДК являются донные отложения, хотя они могут оказывать значительное влияние на качество вод. Использование донных отложений водоемов и водотоков в качестве индикатора наличия ртутного загрязнения, как локального, так и водосборной территории в целом, обусловлено большой сорбционной способностью илов, позволяющей установить не только наличие постоянных источников загрязнения, но и факты масштабных краткосрочных поступлений загрязнителей. Повышенные концентрации ртути наблюдаются в донных отложениях рек, дренирующих территории химических предприятий, полигоны ТБО, аэропорты, сельскохозяйственные территории [2, 7]. В непосредственной близости к г. Хабаровск нет крупных предприятий, деятельность которых связана с активным поступлением ртути в окружающую среду. Однако при определенных условиях возможно вторичное загрязнение территории из-за атмосферного переноса, например, с территории Китайской Народной Республики, которая занимает третье место в мире по запасам ртути и на протяжении многих лет

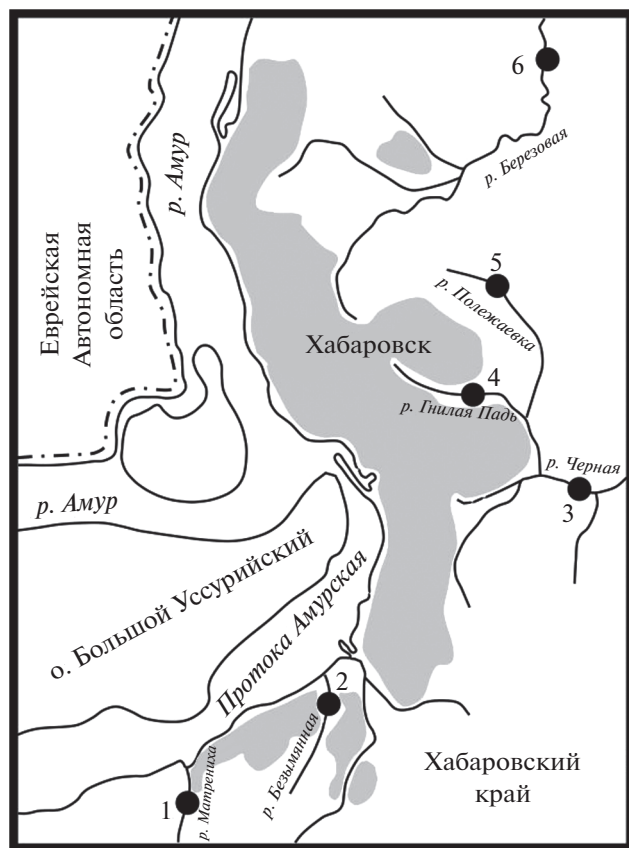


Рис. 1. Карта-схема расположения мест отбора проб.

является одним из крупнейших источников антропогенной ртути. Хотя в последние годы КНР сообщает о снижении общего количества выбросов ртути в окружающую среду, наибольший процент от него стабильно приходился на атмосферный сброс [17].

Значения фоновых содержаний ртути в донных отложениях пресных водоемов сильно варьируют в зависимости от месторасположения и типа водного объекта, геохимической среды, состава самих донных отложений и т.п. Различные авторы приводят цифры от 0.006 до 0.6 мг/кг [11, 13]. Еще более широк диапазон значений концентрации ртути, найденной в донных отложениях, которые авторы относят к “повышенным” и “высоким” — 0.001–77 мг/кг [1, 12]. Столь значительные расхождения в оценке одних и тех же абсолютных значений концентраций обусловлены использованием различных критериев, в качестве которых, помимо сравнения с фоновыми участками, приводятся кларки элемента, в том числе региональные, коэффициенты накопления, целевые значения, зарубежные нормативы. Во многом именно по этой причине данная работа не проводит оценку загрязненности донных отложений малых рек Хабаровска как таковую, в

ней лишь предпринята попытка оценить их текущий “ртутный фон”, установить “точку отсчета” для дальнейшего наблюдения за его изменением. Второй причиной, по которой в настоящей работе не может быть дана оценка динамики ртутного загрязнения, это отсутствие более ранних аналогичных исследований. Несмотря на то, что малые реки города находятся под пристальным вниманием экологов, ведущих мониторинг качества вод и донных отложений [3, 15], данные о содержании в них ртути отсутствуют. Однако имеются сведения о несколько повышенном содержании ртути в почвах Хабаровска, в том числе ее растворимых форм [5, 9], по сравнению с фоновыми территориями, что может послужить источником вторичного загрязнения водных объектов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследования временной динамики содержания ртути в донных отложениях малых рек Хабаровска и его окрестностей отбор проб осуществлялся ежемесячно с апреля по август 2021 г. в фиксированных точках: р. Матрениха 48.355705° N, 135.004654° E; р. Безымянная 48.370918° N, 135.058823° E; р. Черная 48.447684° N, 135.214624° E; р. Гнилая Падь 48.479256° N, 135.139152° E; р. Полежаевка 48.516445° N, 135.153745° E; р. Березовая 48.598720° N, 135.180671° E. Карта-схема мест отбора проб приведена на рис. 1.

Донные отложения исследованных водотоков условно можно разделить на две категории: первая — рыхлые, очень темные техногенные илы с гнилостным запахом, характерны для рек Матрениха, Безымянная, Черная; вторая — илы преимущественно природного происхождения, бурокоричневого цвета с различным содержанием глинистых частиц, без выраженного запаха, характерны для рек Полежаевка, Гнилая Падь, Березовая.

Для сравнительного пространственного анализа 27–30 июля 2021 г. пробы отобраны из некоторых самостоятельных водотоков, впадающих в Амурскую протоку, и из малых рек, расположенных в бассейнах рек Березовая и Черная, а также из самих этих рек, воды которых на протяжении многих лет относят к категориям “грязная” и “экстремально грязная” из-за загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами [4]. Характер донных отложений зависел от точки отбора и мог значительно изменяться в пределах одного водотока.

Для исследований отбирался верхний слой отложений 0–5 см. Пробы высушивались при комнатной температуре, измельчались и просеивались через сито с диаметром 1 мм. Определение массовой доли общей ртути проводилось в ЦКП Центр экологического мониторинга ИВЭП ДВО

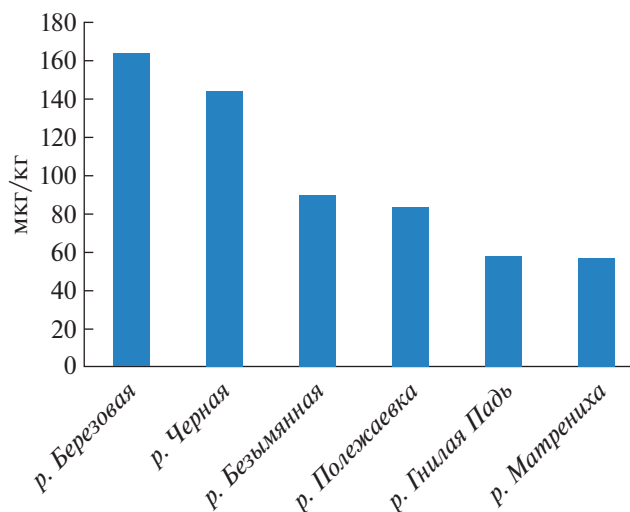


Рис. 2. Среднее содержание ртути в донных отложениях малых рек.

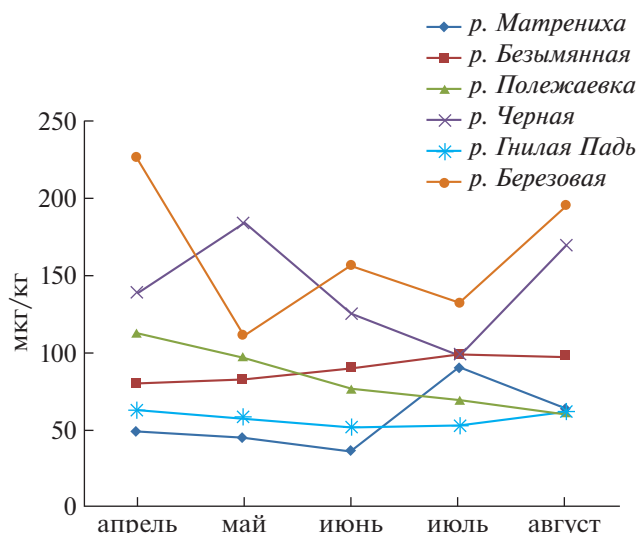


Рис. 3. Временная динамика изменения содержания ртути в донных отложениях.

РАН атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения (метод “холодного пара”) на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой для термического разложения пробы ПРИО-915+ согласно методике М 03-09-2013¹.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Качество вод исследованных рек значительно различалось по органолептическим показателям, изменяясь от “почти прозрачной” без запаха до “очень мутной” с сильным гнилостным запахом. Донные отложения загрязненных участков представляли собой темный техногенный ил, из которого, особенно в теплый период года, активно выделялся газ. Однако связи между визуальной степенью загрязнения вод и содержанием ртути в донных отложениях не отмечено. Так, в донных отложениях рек Матрениха и Безымянная, воды которых в течение всего периода наблюдений были очень мутными с сильным гнилостным запахом, содержание ртути изменялось в пределах 36–91 (среднее 57) мкг/кг и 80–97 (среднее 90) мкг/кг соответственно. В то же время в р. Полежаевка, вода которой характеризовалась небольшим помутнением и была практически лишена запаха, содержание ртути в донных отложениях колебалось от 61 до 113 мкг/кг (при среднем значении 84). Очевидно, имеет значение не только

факт наличия антропогенных стоков, но и их характер. Если первые две реки дренировали, главным образом, территорию сельской застройки, то последняя — преимущественно городскую застройку, краевые учреждения здравоохранения и садово-дачные участки.

Ртуть практически всегда присутствует в осадках сточных вод и техногенных илах, характеризуется высокими коэффициентами аккумуляции [16]. Концентрация ртути в донных отложениях рек Черная и Березовая, периодически принимающих сточные воды, на протяжении всего периода наблюдения была в среднем почти в 2 раза выше, чем в других исследованных водотоках, и составляла 144 и 164 мкг/кг соответственно, изменялась в пределах от 99 до 226 мкг/кг. Среднее содержание ртути в донных отложениях малых рек представлено на рис. 2.

С течением времени изменение содержания ртути в фиксированных точках отбора значительно варьировало. В зависимости от водотока разница между минимальной и максимальной концентрацией составляла от 1.2 до 2.5 раз. Однако какой-либо общей закономерности изменения концентрации по месяцам не выявлено (рис. 3). Очевидно, это обусловлено различиями водности объектов и доли в ней прямых антропогенных стоков, а также индивидуальных особенностей водотоков, таких как состав донных отложений, температура и состав вод, условия аэрации, деятельность микроорганизмов и т.п. [16]. Ранее изменение содержания ртути в донных отложениях в течение двух месяцев более чем в 3.8 раза отмечалось для рек Китая, находящихся под влиянием промышленных сточных вод [18].

¹ ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М 03-09-2013). Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов, в том числе тепличных, глинистых и донных отложений атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М. RUL: <https://docs.cntd.ru/document/437170371>

При анализе пространственной структуры распределения ртути выявлено, что донные отложения водотоков, дренирующих наименее освоенные участки, содержали 25–36 мкг/кг. Вероятно, данные концентрации можно принять за фоновые. Пространственно это выражалось так: южная часть города — 36 мкг/кг, северная часть (бассейн р. Березовая) — 32 мкг/кг, восточная часть (бассейн р. Черная) — 25 мкг/кг. Эти концентрации несколько ниже, чем среднее содержание ртути в почвах водоохранных зон, которое для бассейна р. Березовая составляет 0.034 мг/кг (при амплитуде 0.019–0.112), для бассейна р. Черная — 0.042 мг/кг (при амплитуде 0.023–0.076) [6]. Близость концентраций ртути в илах и аккумулятивных горизонтах почв ранее отмечалась для севера Западной Сибири [8]. В то же время содержание ртути в донных отложениях участков водотоков, дренирующих хорошо освоенные территории, такие как плотная сельская или городская застройка, промзона, сельхозугодия и пр., возрастало в южной части в 2.7 раза, в восточной — 3.7 раза, в северной — 4.8 раза. Что свидетельствует о ее поступлении с поверхностным антропогенным стоком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что содержание общей ртути в донных отложениях рек г. Хабаровск в весенне-летний период 2021 г. изменялось в пределах от 25 до 226 мкг/кг.

Временные колебания концентрации (различия между максимальной и минимальной концентрацией) составили 1.2–2.5 раза, при этом какой-либо общей закономерности изменения концентраций для различных рек не отмечено.

При изучении пространственной динамики распределения ртути, отмечено более значительные колебания в зависимости от степени освоенности дренируемой территории и характера антропогенных стоков. В целом, среднее содержание ртути в донных отложениях рек на участках со слабой антропогенной нагрузкой несколько ниже, чем ее содержание в окружающих почвах. При возрастании освоенности территории, содержание ртути может увеличиваться в 2–4 раза в пределах одного водотока.

Данные, полученные в ходе исследования, будут использованы при дальнейшем мониторинге состояния малых рек Хабаровска и позволят выявить тренд изменения ртутной нагрузки на водотоки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахтямова Г.Г.* Антропогенная трансформация состава донных отложений бассейна р. Пахра (Мос-

ковская область) // Метеорология и гидрология. 2009. № 2. С. 80–88.

2. *Ахтямова Г.Г., Тацкий Ю.Г., Янин Е.П.* Особенности распределения и накопления тяжелых металлов в техногенных илах бассейна р. Пахра // Метеорология и гидрология. 2012. № 2. С. 89–97.
3. *Гаретова Л.А., Фишер Н.А.* Биогеохимическая характеристика донных отложений малых рек г. Хабаровска и его окрестностей // Регионы нового освоения: современное состояние природных комплексов и их охрана: матер. междунар. науч. конф. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2021. С. 130–134.
4. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2020 году. Хабаровск: Министерство природных ресурсов Хабаровского края. 2021. 255 с.
5. *Кот Ф.С., Матюшкина Л.А., Левшина С.И.* Формы ртути в городских почвах промышленных центров среднего Приамурья // Биогеохимические и гидроэкологические оценки наземных и пресноводных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 45–62.
6. *Кошельков А.М., Матюшкина Л.А.* Оценка химического загрязнения почв водоохранных зон малых рек города Хабаровска // Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 2. С. 76–85.
7. *Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю.* Идентификация источников загрязнения водотоков Санкт-Петербурга по результатам изучения донных осадков // Гидрология от познания к мировоззрению: сборник докладов междунар. научн. конф. памяти Ю.Б. Виноградова. СПб.: ООО “Издательство ВВМ”, 2020. С. 979–984.
8. *Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г.* Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422–439.
9. *Росликова В.И., Матвеев Т.И.* Почвы парковых зон “Динамо”, “Дом офицеров флота” Хабаровска и их экологическое состояние // Регионы нового освоения: современное состояние природных комплексов и их охрана: матер. междунар. науч. конф. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2021. С. 264–268.
10. СанПиН 1.2.3685–21. Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021. № 2.
11. *Скугорева С. Г., Ашихмина Т.Я.* Содержание ртути в компонентах природной среды на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. № 3 (11). С. 39–45.
12. *Соловых Г.Н., Осинкина Т.В., Кануникова Е.А., Тихомирова Г.М., Фабарисова Л.Г.* Исследование гранулометрического состава и физико-химической емкости донных отложений среднего течения реки Урал как факторов, влияющих на накопление соединений ртути в исследуемых экотопах // Сове-

- менные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2. С. 38–43.
13. Уварова В.И., Захарова Т.В. Оценка содержания нефтепродуктов и тяжелых металлов в донных отложениях рек Пур и Надым // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3. № 3 (11). С. 62–72.
14. Шаршенева А.А., Усонкулова Г.Б., Железняк А.О. Гигиеническая оценка ртути в объектах окружающей среды // Здоровоохранение Кыргызстана. 2016. № 2. С. 42–48.
15. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геоэкология. 2019. № 3. С. 42–51.
16. Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП «АПСО», 2018. 415 с.
17. Habuer, Takeshi Fujiwara, Masaki Takaoka. The response of anthropogenic mercury release in China to the Minamata Convention on Mercury: A hypothetical expectation // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 323. 12 p.
18. Jian-bo Shia, Li-na Lianga, Gui-bin Jianga, Xing-long Jina. The speciation and bioavailability of mercury in sediments of Haihe River, China // Environment International. 2005. V. 31. P. 357–365.

MERCURY IN BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL RIVERS IN Khabarovsk CITY

O. S. Khomchenko^{a, #}

^a Institute for Water and Environmental Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680021 Russia

[#] E-mail: homchenko.ru@mail.ru

The results are presented of the mercury content study in bottom sediment of small rivers within the Khabarovsk city and surroundings during 2021 spring-summer season. The temporal and spatial shifts in mercury concentration are shown. These shifts are explained by the maturity and the level of agricultural use of water catchment areas. The research highlights the absence of any link between the visual level of water pollution and the mercury content in bottom sediments regardless the sediment nature. During the research period, the mercury content has changed a lot under the influence of a combination of natural and anthropogenic factors. The maximum concentrations of mercury registered for the Berezovaya River – 226 µg/kg (with an average value of 164 µg/kg) and that of Chernaya River – 168 µg/kg (with an average value of 144 µg/kg). These rivers both have natural runoff from the surrounding areas and receive wastewater from treatment facilities. The content of mercury in bottom sediments of the rivers draining underdeveloped areas is slightly lower than in soils of water protection zones. In the areas that drain well-developed territories, it increases by 2–4 times.

Keywords: mercury, sediment layers, small rivers, Khabarovsk

REFERENCES

1. Akhtyamova, G.G. *Antropogennaya transformatsiya sostava donnykh otlozhenii basseina r. Pakhra (Moskovskaya oblast')* [Anthropogenic transformation of the composition of bottom sediments in the Pakhra River basin (Moscow region)]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2009, no. 2, pp. 80–88. (in Russian)
2. Akhtyamova, G.G., Tatsii, Yu.G., Yanin, E.P. *Osobennosti raspredeleniya i nakopleniya tyazhelykh metallov v tekhnogennykh ilakh basseina r. Pakhra* [Features of distribution and accumulation of heavy metals in technogenic silts of Pakhra River basin]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 2, pp. 89–97. (in Russian)
3. Garetova, L.A., Fisher, N.A. *Biogekhimicheskaya kharakteristika donnykh otlozhenii malykh rek g. Khabarovska i ego okrestnostei* [Biogeochemical characteristics of bottom sediments of small rivers in the city of Khabarovsk and its environs]. *Regiony novogo osvoeniya: sovremennoe sostoyaniye prirodnnykh kompleksov i ikh okhrana* [Regions of new development: the current state of natural complexes and their protection. Proc. Intern. Sci. Conf.], Khabarovsk, IWEP FEB RAS Publ., 2021, pp. 130–134. (in Russian)
4. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane orkuzhayushchei sredy Khabarovskogo kraia v 2020 godu* [State report on the state and protection of the environment of the Khabarovsk Territory in 2020]. Khabarovsk, Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory, 2021, 255 p. (in Russian)
5. Kot, F.S., Matyushkina, L.A., Levshina, S.I. *Formy rtuti v gorodskikh pochvakh promyshlennykh tsentrov srednego Priamur'ya* [Forms of mercury in urban soils of industrial centers of the middle Amur region. *Biogekhimicheskie i gidroekologicheskie otsenki nazemnykh i presnovodnykh ekosistem* [Biogeochemical and hydrologic-ecological evaluation of terrestrial and freshwater ecosystems]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2003, pp. 45–62. (in Russian)
6. Koshel'kov, A.M., Matyushkina, L.A. *Otsenka khimicheskogo zagryazneniya pochv vodookhrannyykh zon malykh rek goroda Khabarovska* [Assessment of chemical contamination of soils in water protection zones of

- small rivers in the city of Khabarovsk]. *Regional'nye problemy*, 2018, vol. 21, no. 2, pp. 76–85. (in Russian)
7. Opekunov, A.Yu., Opekunova, M.G., Kukushkin, S.Y. *Identifikatsiya istochnikov zagryazneniya vodotokov Sankt-Peterburga po rezul'tatam izucheniya donnykh osadkov* [Identification of pollution sources of water-courses in St. Petersburg based on the results of the study of bottom sediments]. *Gidrologiya ot poznaniya k mirovozneniyu* [Hydrology from knowledge to world-view. Proc. Intern. Sci. Conf. in commemoration of Yu.B. Vinogradov]. St. Petersburg, BBM Publ., 2020, pp. 979–984. (in Russian)
 8. Opekunova, M.G., Opekunov, A.Yu., Kukushkin, S.Yu., Ganul, A.G. *Fonovoe sodержание khimicheskikh elementov v pochvakh i donnykh osadkakh severa Zapadnoi Sibiri* [Background content of chemical elements in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia]. *Pochvovedenie*, 2019, no. 4, pp. 422–439. (in Russian)
 9. Roslikova, V.I., Matveenkov, T.I. *Pochvy parkovykh zon "Dinamo", "Dom ofitserov flota" Khabarovska i ikh ekologicheskoe sostoyanie* [Soils of park zones "Dynamo", "House of officers of the fleet" of Khabarovsk and their ecological status]. *Regiony novogo osvoeniya: sovremennoe sostoyanie prirodnnykh kompleksov i ikh okhrana* [Regions of new development: the current state of natural complexes and their protection]. Proc. Intern. Sci. Conf., Khabarovsk, IWEP FEB RAS, 2021, pp. 264–268. (in Russian)
 10. *SanPiN 1.2.3685-21. Sanitarnye pravila i normy. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya* [Official Internet Portal of Legal Information, 03.02.2021. Approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation]. Russian Federation, Ministry of Justice, 2021, 975 p. (in Russian)
 11. Skugoreva, S.G., Ashikhmina, T. Ya. *Soderzhanie rtuti v komponentakh prirodnoi sredy na territorii vblizi Kirovo-Chepetskogo khimicheskogo kombinata* [The content of mercury in the natural environment components around Kirovo-Chepetsk chemical plant]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2012, no. 3 (11), pp. 39–45. (in Russian)
 12. Solovykh, G.N., Osinkina, T.V., Kanunikova, E.A., Tikhomirova, G.M., Fabarisova, L.G. *Issledovanie granulometricheskogo sostava i fiziko-khimicheskoi emkosti donnykh otlozhenii srednego techeniya reki Ural kak faktorov, vliyayushchikh na nakoplenie soedinenii rtuti v issleduemykh ekotopakh* [Investigation of the particle-size distribution and physicochemical capacity of bottom sediments in the middle reaches of the Ural River as factors affecting the accumulation of mercury compounds in the studied ecotopes]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2–2, pp. 38–43. (in Russian)
 13. Uvarova, V.I., Zakharova, T.V. *Otsenka sodержaniya nefteproduktov i tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh rek Pur i Nadym* [Assessment of the content of oil products and heavy metals in bottom sediments of the Pur and Nadym rivers]. *Vestnik rybokhozyaistvennoi nauki*, 2016, vol. 3, no. 3 (11), pp. 62–72. (in Russian)
 14. Sharshenova, A.A., Usonkulova, G.B., Zheleznyak, A.O. *Gigienicheskaya otsenka rtuti v ob'ektakh okruzhayushchei sredy* [Hygienic assessment of mercury in environmental objects]. *Zdravookhranenie Kyrgyzstana*, 2016, no. 2, pp. 42–48. (in Russian)
 15. Shesterkin, V.P., Afanas'eva, M.I., Shesterkina, N.M. *Osobennosti kachestva vody malykh rek Khabarovska v zimnii period* [Features of water quality of small rivers of Khabarovsk in winter]. *Geoekologiya*, 2019, no. 3, pp. 42–51. (in Russian)
 16. Yanin, E.P. *Tekhnogennye rechnye ily (usloviya formirovaniya, veshchestvennyi sostav, geokhimicheskie osobennosti)* [Technogenic river silts (conditions of formation, material composition, geochemical features)]. Moscow, NP ARSO Publ., 2018, 415 p. (in Russian)
 17. Habuer, Fujiwara, T., Takaoka, M. The response of anthropogenic mercury release in China to the Minamata Convention on Mercury: A hypothetical expectation. *Journal of Cleaner Production*, 2021. vol. 323, 12 p.
 18. Shia, J., Lianga, L., Jianga, G., Jina, X. The speciation and bioavailability of mercury in sediments of Haihe River, China. *Environment International*, 2005, vol. 31, pp. 357–365.