



Оригинальная статья / Original article

УДК 504.054

Геоэкологическая оценка влияния накопленных отходов бывшего мышьяковистого завода поселка Вершино-Дарасунский на объекты окружающей среды

© О.Л. Качор^а

^аИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: В статье рассматривается геоэкологическое состояние территории поселка Вершино-Дарасунский Забайкальского края с целью установления степени его загрязнения, а также бывшей промплощадки мышьяковистого завода мышьяком и тяжелыми металлами. Все аналитические работы проводились в аккредитованной лаборатории Иркутского национального исследовательского технического университета по аттестованным методикам. Объектами исследования являлись природные и техногенные объекты промплощадки бывшего мышьяковистого завода. В работе представлены результаты проведенных исследований по определению содержания мышьяка и тяжелых металлов в остатках разрушенных сооружений завода, грунте промплощадки и в отвалах огарков. Во всех пробах содержание мышьяка и тяжелых металлов превосходит нормативное в десятки и сотни раз. На основании полученных мониторинговых данных была построена карта ореолов распределения содержаний мышьяка на территории поселка Вершино-Дарасунский. Также был рассчитан суммарный показатель загрязнения почвы промплощадки бывшего мышьяковистого завода в поселке Вершино-Дарасунский, равный 553,61, что соответствует категории загрязнения почв «чрезвычайно опасная». В связи с этим возникает острая необходимость проведения реабилитационных мероприятий по ликвидации последствий накопленного экологического ущерба на природно-технологическом комплексе исследуемой территории.

Ключевые слова: мышьяк, мониторинг, огарки, грунт, загрязнение, отходы

Информация о статье: Дата поступления 17 июля 2019 г.; дата принятия к печати 23 августа 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2019 г.

Для цитирования: Качор О.Л. Геоэкологическая оценка влияния накопленных отходов бывшего мышьяковистого завода поселка Вершино-Дарасунский на объекты окружающей среды. *Науки о Земле и недрапользование*. 2019. Т. 42. № 3. С. 279–286.

Environmental impact of the accumulated industrial waste: geo-ecological evaluation (a case study of the former arsenic plant, Vershino-Darasunsky settlement)

© Olga L. Kachor^a

^aIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The article deals with the geological-and-ecological state of the Vershino-Darasunsky settlement area, Trans-Baikal Territory, with the aim to define the degree of arsenic and heavy metal pollution of the above area and the former arsenic plant site. The analysis using certified methods has been conducted by the accredited laboratory of Irkutsk National Research and Technical University, the research objects being natural and technogenic objects of the former arsenic plant site. The paper presents the results of study on the arsenic and heavy metal content in the ruins of the plant structures, the site soil, and the cinder heaps. The study has shown that the arsenic and heavy metals content in all the samples is several hundred times the norm value. Based on the obtained monitoring data, a map of the arsenic content areal distribution for Vershino-Darasunsky settlement has been drawn. Besides, an aggregate index of soil pollution of the Vershino-Darasunsky are has been calculated. The index value is 553.61, which corresponds to the 'extremely dangerous' pollution category. In this connection, there is an urgent need for rehabilitation measures to eliminate the effect of the accumulated environmental damage caused to the natural-and-technological complex of the study area.

Keywords: arsenic, monitoring, cinder, soil, pollution, waste

Information about the article: Received July 17, 2019; accepted for publication August 23, 2019; available online September 30, 2019.



For citation: Kachor O.L. Environmental impact of the accumulated industrial waste: geo-ecological evaluation (a case study of the former arsenic plant, Vershino-Darasunsky settlement). *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2019;42(3):279–286. (In Russ.)

Введение

В указе Президента Российской Федерации «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» № 176 от 19.04.2017 г. особое внимание уделяется проблеме накопленного экологического ущерба хозяйственной деятельности прошлых лет. В результате проведенного государственного мониторинга к 2018 году выявлено 1800 объектов накопленного вреда окружающей среде в 80 субъектах Российской Федерации с общей площадью загрязненных земель 160 тыс. га и массой накопленных отходов 260 млн т, при этом численность населения, подверженного негативному воздействию, составляет порядка 18 млн чел. Около 6 % этих отходов относится к горно-перерабатывающей промышленности. Особое внимание уделяется отходам горно-перерабатывающей промышленности, содержащим мышьяк, которые могут очень долгое время оставаться активными, то есть способными к химическим превращениям и миграции под действием естественных природных условий, а также попадают в цепь жизнеобеспечения человека: пищу, воду и воздух [1–6].

В настоящее время территорий с еще не ликвидированными очагами загрязнения прошлых лет по добыче арсенопиритных руд и производству мышьяка в стране остается по-прежнему много, наиболее представительными территориями являются город Свирск, поселки Вершино-Дарасунский и Запокровский, города Карабаш, Пласт и Ревда – здесь предельно допустимые концентрации мышьяка и тяжелых металлов в почвах превышены в десятки и сотни раз, а частота онкологических и иных мышьякопосредованных заболеваний местного населения всегда превышает среднее по региону [7–9]. Из обозначенных территорий наиболее острая социально-экологи-

ческая ситуация с мышьяковистым загрязнением объектов окружающей среды представлена в поселке Вершино-Дарасунский Забайкальского края ввиду расположения промплощадки бывшего мышьяковистого завода в центральной части населенного пункта вблизи многих социально значимых объектов, а также в соседстве с действующими цехами золотоизвлекательной фабрики. Мышьяковистый завод в Вершино-Дарасунском был построен в 30-х годах XX столетия для производства белого мышьяка, закрыт в 1973 году без проведения каких-либо работ по безопасной ликвидации его сооружений, мышьяксодержащих огарков и загрязненного грунта. К настоящему времени на территории промплощадки расположены остатки здания основного цеха, трехэтажный цех рафинации мышьяка, на кулерах которого и под ними можно наблюдать полупродукты возгонки триоксида мышьяка – вкрапления белосерого цвета, а также огарки обжига арсенопиритных руд общей массой около 50,0 тыс. т.

Целью исследований являлось установление степени загрязнения территории поселка и бывшей промплощадки мышьяковистого завода мышьяком и тяжелыми металлами. Для этого нами были проведены соответствующие полевые и химико-аналитические исследования.

Методы исследования

Все анализы проводились в аккредитованной лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред Иркутского национального исследовательского технического университета № РОСС RU.0001.518897. Для получения результатов исследования были использованы следующие аттестованные методики: ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08. Мето-



дика выполнения измерений массовых долей подвижных форм металлов в почвах, отходах, компостах, кеках, осадках сточных вод атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно-связанной аргоновой плазме.

Результаты исследования и их анализ

Для определения содержания мышьяка и тяжелых металлов в природных и техногенных объектах на бывшей промплощадке мышьяковистого завода (рис. 1) и в селитебной зоне поселка Вершино-Дарасунский в октябре 2016 года были отобраны пробы природного и техногенного происхождения, также были отобраны пробы грунта на расстоянии 50 км от поселка Вершино-Дарасунский при выезде на федеральную автомобильную трассу Р-297 «Амур» для определения фонового содержания элементов в рассматриваемом районе.

Во всех пробах содержание мышьяка и тяжелых металлов значительно превосходит нормативное. Так, по мышьяку (ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) – 2 мг/кг для песчаных и су-

песчаных почв) зафиксированы превышения в пробах грунта от 500 до 75000 раз, до нескольких сотен раз достигает превышение содержания по тяжелым металлам. Максимальное превышение по свинцу составляет 250 раз (ОДК – 32 мг/кг), по меди – в 80 раз (ОДК – 33 мг/кг), по цинку – в 14 раз (ОДК – 55 мг/кг) [10]. Содержание мышьяка в отвалах огарков варьируется от 2820 до 20890 мг/кг, в остатках разрушенных сооружений (кирпич) – от 335 до 1680 мг/кг. Самые значительные концентрации мышьяка зафиксированы в пробах грунта, отобранных по периметру цеха рафинации – 159770 мг/кг. Это говорит о привнесении высоких концентраций загрязнителя как ввиду негерметичности помещений во время работы завода, так и по причине выдувания остатков готовой продукции (триоксида мышьяка) с кулеров после остановки производства и постепенного разрушения цеха. Такие содержания мышьяка и тяжелых металлов в грунте свидетельствуют о его крупномасштабном загрязнении и характеризуют его как отход [11].



Рис. 1. Космическая съемка (Яндекс-карты) места расположения бывшей промплощадки мышьяковистого завода и места размещения огарков:
1 – условные границы бывшей промплощадки в поселке Вершино-Дарасунский;
2 – строения ООО «Урюмкан» (золотоизвлекательной фабрики), 2016 г.

Fig. 1. Space imagery (Yandex maps) of the former arsenic plant site and the cinder heaps location:
1 – approximate boundaries of the former industrial site in Vershino-Darasunsky settlement;
2 – "Uryumkan" (gold extraction factory) structures, 2016



На основании полученных данных в картографическом редакторе Surfer была построена карта ореолов рассеяния мышьяка на территории поселка Вершино-Дарасунский (рис. 2) [12]. Как видно из рис. 2, основное экстремальное содержание мышьяка находится рядом с бывшими производственными цехами. На этой территории и фиксируются наиболь-

шие превышения ОДК по мышьяку в почве. Концентрированию мышьяка на этой территории способствует рельеф местности – уклон в сторону промплощадки бывшего мышьяковистого завода (рис. 3).

Площадь зоны с превышением ОДК по мышьяку в грунте более чем в 5000 раз составляет около 9 га. В поселке

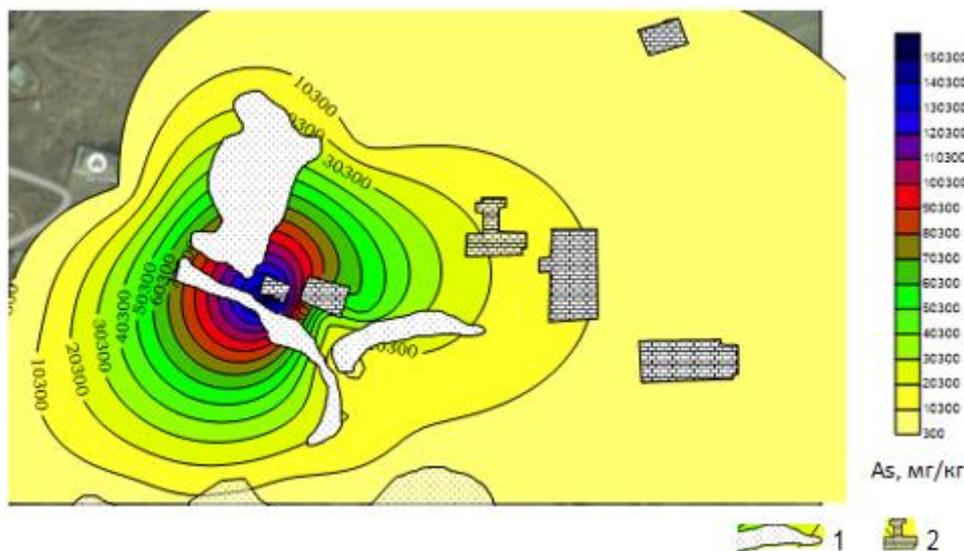


Рис. 2. Ореолы распределения содержаний мышьяка на территории природно-техногенного комплекса бывшего мышьяковистого завода в поселке Вершино-Дарасунский:

1 – условные границы отвалов огарков; 2 – строения

Fig. 2. Arsenic content areal distribution in the natural-technogenic complex of the former arsenic plant area, Vershino-Darasunsky settlement:

1 – conditional boundaries of the cinder dumps; 2 – buildings



Рис. 3. Вид на заброшенную промплощадку завода (поселок Вершино-Дарасунский), 2016 г.

Fig. 3. View of the abandoned industrial site of the plant (Vershino-Darasunsky settlement), 2016



преобладает западный ветер, что объясняет распространение ореола загрязнения в восточном направлении. Понижение рельефа местности (см. рис. 3) в сторону местоположения развалин основных цехов мышьяковистого завода за много лет способствовало образованию локального участка с катастрофическим превышением содержания мышьяка. По этой территории (см. рис. 3) с северной части промплощадки золотоизвлекательной фабрики между отвалами огарков протекает ручей, который вымывает из отходов и несет в себе вниз по склону не только золото, незаконно добывающееся местным населением поселка, но также мышьяк и тяжелые металлы.

Для установления миграционной способности мышьяка из отходов в объекты окружающей среды были проведены исследования по определению его подвижных форм. Именно подвижные формы мышьяка и тяжелых металлов представляют особую социально-экологическую опасность для населения и объектов окружающей среды [13–15]. Попадая в водную среду, они легко мигрируют в грунты, в подземные водооток, распространяясь далеко от источника загрязнения [16–20]. Учитывая, что процесс естественного вымывания мышьяка из отходов длится уже более 80 лет, можно говорить о глубокой степени проникновения мышьяка в пористые структуры материалов отходов и образовании с их элементами различных форм связей как химической, так и физической природы. По результатам исследований наиболее процентное содержание миграционных форм наблюдалось в остатках разрушенных сооружений (кирпичах) и превышало 23 %, в верхнем слое отвалов огарков подвижные формы мышьяка составляют порядка 2,4 %. Низкий процент отмытого мышьяка из отвалов огарков говорит о том, что за длительный период мышьяк вымылся из верхних слоев огарков, проникая вглубь толщи отвала, а затем в подстилающую поверхность.

Обсуждение

На основании полученных мониторинговых данных о валовом содержании мышьяка и тяжелых металлов был рассчитан суммарный показатель загрязнения почвы промплощадки бывшего мышьяковистого завода в поселке Вершино-Дарасунский. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) почвы равен 553,61, что согласно методике «Оценка почв и грунтов в ходе проведения инженерно-экологических изысканий для строительства» оценивается как очень загрязненный, а категория загрязнения почв – как чрезвычайно опасная.

Согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям к качеству почвы «Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.7.1287-03. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы», почвенный покров промплощадки поселка Вершино-Дарасунский можно отнести к категории загрязнения «чрезвычайно опасная» ($128 < Z_c$). Рекомендованное использование данного типа грунтов: вывоз и утилизация на специализированных полигонах. При наличии эпидемиологической опасности – использование после проведения дезинфекции (дезинвазии) по предписанию органов госсанэпидслужбы с последующим лабораторным контролем.

Заключение

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о крупномасштабном загрязнении данной территории. Даже при условии ликвидации промплощадки бывшего мышьяковистого завода поселка Вершино-Дарасунский со всеми отходами (огарки, разрушенные сооружения, грунт) остальная территория населенного пункта остается крайне загрязненной и требует реабилитационных мероприятий по устранению последствий влияния накопленного экологического ущерба на природно-техногенный комплекс изучаемой территории.



Библиографический список

1. Богданов А.В., Качор О.Л., Федотов К.В., Чайка Н.В. Ликвидация последствий деятельности мышьякового производства горно-перерабатывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2014. № 5. С. 31–35.
2. McCarty K.M., Hanh H.T., Kim K.W. Arsenic geochemistry and human health in South East Asia // Reviews on Environmental Health. 2011. Vol. 26. Iss. 1. P. 71–78. <https://doi.org/10.1515/reveh.2011.010>.
3. Smith E., Naidu R., Alston A.M. Arsenic in the soil environment: a review // Advances in Agronomy. 1998. Vol. 64. P. 149–195.
4. Водяницкий Ю.Н. Оценка суммарной токсикологической загрязненности почв тяжелыми металлами и металлоидами // Агрехимия. 2017. № 2. С. 56–63.
5. Kumpiene J., Desogus P., Schulenburg S., Arenella M., Renella G., Brännvall E. [et al.]. Utilisation of chemically stabilized arsenic-contaminated soil in a land fill cover // Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20. Iss. 12. P. 8649–8662. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1818-3>.
6. Keller C., Kayser A., Schulin R. Heavy-metal uptake by agricultural crops from sewage sludge treated soils of the Upper Swiss Rhine Valley and the effect of time // Environmental restoration of metals-contaminated soils. Washington: Lewis, 2001. P. 273–293.
7. Петров И.М., Вольфсон И.Ф., Петрова А.И. Выбросы мышьяка металлургическими заводами России и их влияния на состояние окружающей среды и здоровье населения // Экологический вестник России. 2014. № 12. С. 44–49.
8. Ульрих Д.В., Тимофеева С.С. Современное состояние хвостохранилища в г. Карабаш и его влияние на техногенез прилегающей территории // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 1. С. 56–59.
9. Макушев Д.Ю. Воздействие выбросов ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» на воздушный бассейн // Известия Уральского государственного горного университета. 2011. № 25-26. С. 53–58.
10. Качор О.Л., Богданов А.В., Федотов К.В. Оценка правовой и технической возможности ликвидации накопленного вреда окружающей среде мышьяковистыми отходами горно-перерабатывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 11. С. 42–46.
11. Мязин В.П., Михайлютина С.И. Комплексная оценка техногенного загрязнения почв и продуктов питания тяжелыми металлами при размещении хвостохранилищ в Восточном Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 9. С. 164–170.
12. Toth G., Hermann T., Szatmari G., Pasztor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment // Science of the Total Environment. 2016. Vol. 565. P. 1054–1062.
13. Harvey C.F., Swartz C.H., Badruzaman A.B.M., Keon-Blute N., Yu W., Ali M.A. [et al.]. Arsenic Mobility and Groundwater Extraction in Bangladesh // Science. 2002. Vol. 298. Iss. 5598. P. 1602–1606.
14. Shrivastava A., Ghosh D., Dash A., Bose S. Arsenic contamination in soil and sediment in India: Sources, effects, and remediation // Current Pollution Reports. 2015. Vol. 1. Iss. 1. P. 35–46.
15. Добровольский В.В. Миграционные формы и миграция масс тяжелых металлов в биосфере // Геохимия природных и техногенно измененных биосистем. М.: Научный мир, 2006. С. 35–54.
16. Птицын А.Б., Гребенщикова В.И., Заман Л.В., Итигилова М.Ц., Матюгина Е.Б., Смирнова О.К. [и др.]. Подвижность химических элементов в водных и наземных экосистемах // Вестник Забайкальского государственного университета. 2014. № 8 (111). С. 23–32.
17. Гордеева О.Я., Белоголова Г.А., Гребенщикова В.И. Распределение и миграция тяжелых металлов и мышьяка в системе почва – растение в условиях г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Проблемы региональной экологии. 2010. № 3. С. 108–113.
18. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Алексеев И.А., Салтыков А.В. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов и мышьяка в системе огородные почвы – овощные культуры в районе строительства космодрома «Восточный» (бассейн р. Зeya, Амурская область) // Агрехимия. 2015. № 2. С. 89–96.
19. Золотарева Б.Н. Миграция и трансформация экзогенных форм соединений тяжелых металлов в почвах (натурное моделирование) // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы международного симпозиума (Пушино, 15–18 октября 1996 г.). Пушино, 1997. С. 35–43.
20. Турбинский В.В., Бортникова С.Б. О соотношении мышьяка и сурьмы в биогеохимических провинциях как факторов риска здоровью // Анализ риска здоровью. 2018. № 3. С. 136–143.

References

1. Bogdanov AV, Kachor OL, Fedotov KV, Chaika NV. Elimination of the arsenic production effects in mining and processing industry. *Ekologiya i*

promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia. 2014;5:31–35. (In Russ.)



2. McCarty KM, Hanh HT, Kim KW. Arsenic geochemistry and human health in South East Asia. *Reviews on Environmental Health*. 2011;26(1):71–78. <https://doi.org/10.1515/reveh.2011.010>.
3. Smith E, Naidu R, Alston AM. Arsenic in the soil environment: a review. *Advances in Agronomy*. 1998;64:149–195.
4. Vodyanitskii YuN. The evaluation of total toxicological contamination of soils with heavy metals and metalloids. *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2017;2:56–63. (In Russ.)
5. Kumpiene J, Desogus P, Schulenburg S, Arenella M, Renella G, Brännvall E, et al. Utilisation of chemically stabilized arsenic-contaminated soil in a land fill cover. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(12):8649–8662. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1818-3>.
6. Keller C, Kayser A, Schulin R. Heavy-metal uptake by agricultural crops from sewage sludge treated soils of the Upper Swiss Rhine Valley and the effect of time. *Environmental restoration of metals-contaminated soils*. Washington: Lewis; 2001. p.273–293.
7. Petrov IM, Volfson IF, Petrova AI. Arsenic emission from Russian metallurgical plants and its impact on the environment and public health. *Ekologicheskii vestnik Rossii = Environmental Bulletin of Russia*. 2014;12:44–49. (In Russ.)
8. Ul'rikh DV, Timofeeva SS. The current state of the tailing dump in the city of Karabash and its impact on the technogenesis of the adjacent territory. *Ecology and Industry of Russia*. 2015;19(1):56–59. (In Russ.)
9. Makushev DYu. Impact of emissions by JSC "Sredneuralsky copper smelter" on the atmosphere. *News of the Ural State Mining University*. 2011;25-26:53–58. (In Russ.)
10. Kachor OL, Bogdanov AV, Fedotov KV. Legal and technical possibility assessment of eliminating accumulated damage to environment by arsenic waste from mining and processing industry. *Ecology and Industry of Russia*. 2017;21(11):42–46. (In Russ.)
11. Myazin VP, Mikhailyutina SI. Complex assessment of technogenic contamination of soils and food products with heavy metals when allocating tailing dumps in Eastern Trans-Baikal region. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2006;9:164–170. (In Russ.)
12. Toth G, Hermann T, Szatmari G, Pasztor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *Science of the Total Environment*. 2016;565:1054–1062.
13. Harvey CF, Swartz CH, Badruzzaman ABM, Keon-Blute N, Yu W, Ali MA, et al. Arsenic Mobility and Groundwater Extraction in Bangladesh. *Science*. 2002;298(5598):1602–1606.
14. Shrivastava A, Ghosh D, Dash A, Bose S. Arsenic contamination in soil and sediment in India: Sources, effects, and remediation. *Current Pollution Reports*. 2015;1(1):35–46.
15. Dobrovol'skii VV. Migration forms and mass migration of heavy metals in the biosphere. *Geochemistry of natural and anthropogenic modified biogeosystems*. Moscow: Nauchnyi mir; 2006. p.35–54. (In Russ.)
16. Ptitsyn AB, Grebenshchikova VI, Zaman LV, Itigilova MTs, Matyugina EB, Smirnova OK, et al. Mobility of chemical elements in aquatic and terrestrial ecosystems. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Trans-Baikal state University*. 2014;8(111):23–32. (In Russ.)
17. Gordeeva OYa, Belogolova GA, Grebenshchikova VI. Distribution and migration of heavy metals and arsenic in "soil – plant" system in Svirsk town conditions (the Southern Baikal region). *Problemy regional'noi ekologii = Problems of the Regional Ecology*. 2010;3:108–113. (In Russ.)
18. Puzanov AV, Baboshkina SV, Alekseev IA, Saltykov AV. Accumulation and distribution of heavy metals and arsenic in the "garden soil-vegetable crops" systems near the Vostochny Cosmodrome (Zeya River basin, Amurskaya oblast). *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2015;2:89–96. (In Russ.)
19. Zolotareva BN. Migration and transformation of the exogenous forms of heavy metal compounds in soils (field modeling). In: *Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede: materialy mezhdunarodnogo simpoziuma = Heavy metals in the environment: Proceedings of the international symposium*, 15–18 October 1996, Pushchino. Pushchino; 1997. p.35–43. (In Russ.)
20. Turbinskii VV, Bortnikova SB. Proportions of arsenic and antimony in biogeochemical provinces as health risk factors. *Health Risk Analysis*. 2018;3:136–143. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Качор О.Л. написала статью, имеет на нее авторские права и несет ответственность за плагиат.
Olga L. Kachor is the author of the article, holds the copyright and bears responsibility for plagiarism

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

**Сведения об авторе / Information about the author****Качор Ольга Леонидовна,**

кандидат технических наук,
доцент кафедры обогащения полезных ископаемых
и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: olgakachor@gmail.com

Olga L. Kachor,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor, Department of Mineral Processing
and Environmental Protection,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
✉ e-mail: olgakachor@gmail.com