



ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Научная статья

УДК 504.062.4

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-84-96>**Технологические решения рекультивации промплощадки
бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент»****А.В. Богданов^а, А.И. Шкрабо^б, А.С. Шатрова^с**^{а-с}*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

Резюме. Целью представленного исследования являлась инвентаризация источников накопленного вреда промышленной площадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», расположенной в черте муниципального образования «г. Свирск» Иркутской области (Россия), а также анализ их влияния на состояние окружающей среды. В ходе проведенных работ авторами был рассчитан критерий численной оценки общего влияния объекта накопленного вреда окружающей среде на состояние экологической безопасности. На основе полученных результатов сделано заключение о том, что промышленная площадка бывшего завода «Востсибэлемент» является источником накопленного вреда, а также крайне экологически опасным объектом в связи со своим расположением в черте муниципального образования «г. Свирск» и водоохранной зоны реки Ангары, представляющим потенциальную угрозу всей территории верхней части Братского водохранилища. По данным мониторинга построена геостатистическая модель рассеяния подвижных форм свинца в почве, установлены аномальные зоны загрязнения. В почве на территории промышленной площадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» было выявлено три участка с аномально большим, более 6000 мг/кг, содержанием подвижных форм свинца. На всей территории промышленной площадки содержание подвижного свинца в поверхностном слое (0–20 см) не опускается ниже 100 мг/кг, что выше предельно допустимой концентрации в 17 раз. Установлено превышение содержания свинца в лапчатке гусиной (*Potentilla anserina*), которое составило 10 фоновых значений. В разовой точечной пробе донных отложений реки Ангары в начале промышленной площадки, в четырех метрах от уреза береговой линии, зафиксировано превышение фонового содержания по свинцу, меди, цинку в 59, 12 и 4,7 раза соответственно. В результате проведенных работ на основании полученных данных и представлений о наилучших доступных технологиях предложена концепция экологически безопасной рекуперативной технологии рекультивации промышленной площадки бывшего завода ОАО «Востсибэлемент», которая является весьма эффективной как с технико-экономической, так и с правовой и социально-экологической точки зрения и может быть рассмотрена в качестве варианта ликвидации накопленного вреда крайне опасного объекта.

Ключевые слова: мониторинг, накопленный вред, рекультивация, почва, свинец, рекуперация

Для цитирования: Богданов А.В., Шкрабо А.И., Шатрова А.С. Технологические решения рекультивации промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 1. С. 84–96. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-84-96>.

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF GEOLOGICAL EXPLORATION

Original article

**Process engineering solutions for reclamation
of former Vostsibelement battery plant industrial site****Andrey V. Bogdanov^a, Anna I. Shkrabo^b, Anastasiya S. Shatrova^c**^{а-с}*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

Abstract. The purpose of the present research is the inventory of the sources of accumulated contaminants at the former Vostsibelement industrial site located within the municipality of the town of Svirsk of the Irkutsk region (Russia) as well as



the analysis of their impact on the environmental conditions. The conducted study included the calculation of the numerical assessment criterion of the overall impact of the accumulated environmental damage site on the state of environmental safety. On the basis of the results obtained, it was concluded that the industrial site of the former Vostsibelement factory is a source of accumulated harm, as well as an extremely environmentally hazardous site posing a potential threat to the entire upper territory of the Bratsk reservoir due to its location within the boundaries of the municipality of the town of Svirsk and the water protection zone of the Angara river. Based on the monitoring data, a geostatistical dispersion model of mobile lead in soil was constructed and anomalous contamination zones were identified. Three areas with an anomalously high content of mobile forms of lead (more than 6000 mg/kg) were identified in the soil on the territory of the industrial site of the former Vostsibelement battery factory. The content of mobile lead in the surface layer (0–20 cm) throughout the industrial site is not less than 100 mg/kg, which is 17 times higher than the maximum allowable concentration. The established excess of lead content in silverweed cinquefoil (*Potentilla anserina*) amounted to 10 background readings. A single point sample of bottom sediments of the Angara river at the entry of the industrial site, four meters from the water edge demonstrates an excess of the background content for lead, copper, zinc by 59, 12 and 4.7 times, respectively. The conducted research, analysis of the data obtained and review of the best available technologies allowed to introduce a concept for an environmentally friendly recuperative technology for the reclamation of the former Vostsibelement factory industrial site, which is very effective both from the technical and economic, and from the legal and social-ecological point of view. It also can be considered as an option to eliminate the accumulated harm of an extremely hazardous site.

Keywords: monitoring, accumulated harm, reclamation, soil, lead, recovery

For citation: Bogdanov A.V., Shkrabo A.I., Shatrova A.S. Process engineering solutions for reclamation of former Vostsibelement battery plant industrial site. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(1):84-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-84-96>.

Введение

В 2017 году был утвержден Указ Президента Российской Федерации «О стратегии экологической безопасности на период до 2025 года»¹, ставший документом стратегического планирования в области развития системы обеспечения экологической безопасности. В данном указе отмечено, что состояние окружающей среды на территории Российской Федерации оценивается как неблагоприятное. Более 300 объектов вреда, накопленного вследствие прошлой хозяйственной деятельности, являются непосредственными источниками потенциальной угрозы жизни и здоровью населения. В связи с этим в максимально короткие сроки должны быть решены задачи по ликвидации накопленного вреда окружающей среде.

Стоит отметить, что особенно остро в наше время стоит проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. В числе прочих источниками поступления в окружающую среду таких металлов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, медь, цинк, являются предприятия аккумуляторной промышленности, коих на территории России насчитывается более 30. В Иркутской области такого рода объектом накопленного существенного вреда окружающей среде вследствие

загрязнения тяжелыми металлами является промплощадка бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», расположенная в черте муниципального образования «г. Свирск» в водоохранной зоне реки Ангары (Иркутская область, Россия) (рис. 1).

Еще в 1939 году в деревне Свирская, которая позже была преобразована в рабочий поселок, начал свою работу завод химических источников тока № 389. Со временем он был переименован в ОАО «Свирский завод "Востсибэлемент"», а с начала 2000-х годов стал носить название ООО «АкТех». В настоящее время данная компания входит в десятку наиболее крупных предприятий по количеству выпущенных свинцовых аккумуляторов [1], а также является рекордсменом по количеству торговых марок (у нее насчитывается 13 суббрендов аккумуляторных батарей) [2]. Ранее на территории промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» располагалось три основных производства: аккумуляторное производство с изготовлением свинцово-кислотных аккумуляторов (авиационных, вагонных, мотоциклетных); изготовление гальванических элементов и батарей марганцево-цинковой системы, а также электроугольное производство с изготовлением

¹ О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 [Электронный ресурс]. URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201704200016.pdf> (08.12.2022).



Рис. 1. Космическая съемка расположения промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» (космическая съемка Google)

Fig. 1. Satellite image of the location of the former Vostsibelement battery factory industrial site (Google satellite imagery)

электроуглей для элементной промышленности и киноуглей для проекционных установок. В настоящее же время на площади 33 га располагаются развалины цехов и строительный мусор (105 тыс. м³), техногенный почвогрунт, загрязненный тяжелыми металлами (110 тыс. м³), а также отходы неустановленного происхождения (20 тыс. м³) (рис. 2).

Согласно проведенным ранее обследованиям территории муниципального образования «г. Свирск», в подстилающих грунтах обнаруживаются значительные превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) свинца (3–300 ПДК) [3], согласно Государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году»², суммарный показатель загрязнения почв в среднем составляет 48 (высоко опасный уровень загрязнения), концентрации таких тяжелых металлов, как свинец, цинк, медь и никель, существенно превышают фоновые значения и имеющиеся гигиенические нормативы. При этом среднее содержание свинца в почвах в радиусе 15 км от промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» составляет 8 ПДК, а максимальное значение достигает 46 ПДК [4, 5]. Большое содержание свинца в почве способствует его миграции в сельскохозяйственные культуры, выращенные на дачных участках муниципального образования «г. Свирск»: так,

содержание свинца в картофеле и овощах достигало 1–6,1 ПДК [6], в овощной продукции для детского питания – 5–30 ПДК [7].

В 2021 г. сотрудниками Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ), а именно специалистами кафедры обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова, аккредитованной Лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред (уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц РОСС RU.0001.518897) и Научно-исследовательского и проектного института геологии, инженерных изысканий и экологии, на основании внутреннего научно-исследовательского договора был проведен анализ более 150 образцов отходов и объектов окружающей среды, отобранных на промплощадке бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» [8].

На основании результатов обследования, полученных в ходе проведенных работ, рассчитан критерий *П*, который является численной оценкой общего влияния объекта накопленного вреда окружающей среде на состояние экологической безопасности, согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 августа 2017 г. № 435 «Об утверждении критериев и срока категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых

² О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году: государственный доклад [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/proekt_gosudarstvennogo_doklada_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federat2019/ (08.12.2022).



Рис. 2. Развалины цехов бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», 2021 г.
Fig. 2. Shop ruins of the former Vostsibэлемент battery factory, 2021

подлежит ликвидации в первоочередном порядке»³. В соответствии с полученными данными и представлениями о наилучших доступных технологиях предложена концепция технологии рекультивации территории промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент».

Материалы и методы исследования

С помощью программы Surfer была построена схема распределения свинца в почве промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент». Программное обеспечение Surfer, разработанное компанией Golden Software Inc., предназначено для построения векторных моделей на основе наблюдений в отдельных точках пространства, а также последующего анализа полученных моделей. В качестве алгоритмов интерполяции был выбран метод кригинга (*англ.*: kriging), который считается самым оптимальным и подходящим для решения большинства задач [9–11].

Основные этапы создания геостатистической модели включают:

- анализ и предварительную обработку данных (декластеризация, выявление трендов и областей пространственной неоднородности, анализ распределения, выпадающих значений, анизотропии);
- расчет значений эмпирической вариограммы или ковариации;
- построение модели вариограммы или ковариации;
- решение системы уравнений кригинга для определения весов;
- получение прогнозного значения и ошибки (неопределенности) оценки в произвольной точке области исследования (например, в узлах регулярной сетки).

Почвы с территории промплощадки «Востсибэлемент» отбирались по ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб»⁴ и ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа»⁵ методом «конверта» с двух глубин: 0–5 см и 5–20 см. Было отобрано около 150 проб, которые были пронумерованы и зарегистрированы

³ Об утверждении критериев и срока категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых подлежит ликвидации в первоочередном порядке: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 августа 2017 г. № 435 [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201711290029> (08.12.2022).

⁴ ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введ. 01.06.2018 г. [Электронный ресурс]. URL: http://tunadzor.ru/upload/doc/departments/298/gost_17.4.3.01-2017.pdf (08.12.2022).

⁵ ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 17.04.2018 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tunadzor.ru/upload/doc/departments/298/gost_17.4.4.02-2017.pdf (08.12.2022).



с фиксацией GPS-координат точек отбора. Образцы донных отложений были отобраны в соответствии с рекомендациями ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность»⁶ и ПНД Ф 12.1:2.2.2.3.2-03 «Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления»⁷ в четырех метрах от уреза береговой линии выше по течению Ангары относительно промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент», глубина отбора донных отложений – 0–50 см. Точечные пробы донных отложений отбирались объемом не менее 500 мл каждая, помещались в отдельную емкость и тщательно перемешивались. Отобранные образцы объектов окружающей среды и отходов доставлялись в аккредитованную Лабораторию экологического мониторинга природных и техногенных сред ИРНТУ, где для химического анализа их высушивали до воздушно-сухого состояния.

Количественный химический анализ отобранных проб осуществлялся в ИРНТУ по аттестованным методикам на современном оборудовании. В связи со спецификой работы бывшего завода «Востсибэлемент» основными показателями для определения степени загрязнения являлись тяжелые металлы (свинец, медь, цинк, ртуть и др.), мышьяк, также для классификации почв выполнялось измерение водородного показателя водной и солевой вытяжек. Для оценки класса опасности отходов определялось токсическое действие на водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijerinck*, 1890) и на дафнии (*Daphnia magna Straus*, 1820).

Подвижные формы тяжелых металлов и мышьяка, которые являются наиболее опас-

ными, так как способны мигрировать по трофической цепочке в растения и далее в организм человека [12, 13], в отобранных на территории промплощадки завода «Востсибэлемент» образцах почвы определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной аргонной плазмой на приборе ICPE-9000, для этого отобранные почвы обрабатывали ацетатно-аммонийным буферным раствором с водородным показателем 4,8, затем фильтровали полученную вытяжку через фильтр «синяя лента» и анализировали содержание тяжелых металлов в фильтрате на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000. Валовые формы тяжелых металлов и мышьяка определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной аргонной плазмой на приборе ICPE-9000, для чего тяжелые металлы в образцах переводили в раствор путем их растворения в смеси концентрированных кислот при высоких температурах. Определение валовых форм ртути в почве, отходах и донных отложениях осуществлялось на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С. Данный метод основан на атомизации содержащейся в пробе ртути в двухсекционном пиролизаторе приставки РП-91С и последующем ее определении методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути РА-915+.

Токсическое действие на водоросли хлорелла (*Clorella vulgaris Beijer*) отходов определялось по методике ПНД Ф Т 14.1:2.3:4.10-2004 «Токсикологические методы анализа. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*)»⁸, которая основана на регистрации различий в вели-

⁶ ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. Введ. 01.01.1982 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012787> (08.12.2022).

⁷ ПНД Ф 12.1:2.2.2.3.2-03. Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293768/4293768529.pdf> (08.12.2022).

⁸ ПНД Ф Т 14.1:2.3:4.10-2004. Токсикологические методы анализа. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*) [Электронный ресурс]. URL: <https://e-ecolog.ru/docs/SRuWYGNjmTbtd703UОНА> (08.12.2022).



чине оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль), и в тестируемых пробах вод и водных вытяжек (опыт), в которых эти вещества могут присутствовать. Токсическое действие на дафнии (*Daphnia magna Straus*) отходов определялось по методике ПНД Ф Т 14.1:2.4.12-06 «Токсикологические методы анализа. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna Straus*)»⁹, которая основана на определении смертности дафний (*Daphnia magna Straus*) при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой пробе, по сравнению с контрольной культурой в среде, не содержащей токсических веществ.

Результаты исследования

Результаты количественного химического анализа почвогрунта по основным загрязняющим компонентам промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» приведены в таблице. На основе данных указанной таблицы и отчета о научно-исследовательской работе в рамках хозяйственного договора № 27 от 30 октября 2021 г. «Экологический и инженерный мониторинг источников накопленного вреда промышленной площадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» муниципального образования «г. Свирск» и составление укрупненной сметы к выполнению инженерных изысканий»¹⁰ построена схема распределения свинца в почве промышленной площадки и выполнена оценка критерия П (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 августа 2017 г. № 435 «Об утверждении критериев и

срока категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых подлежит ликвидации в первоочередном порядке»¹¹).

Рассчитанный критерий П складывается из следующих пунктов:

1. Объем компонента природной среды, содержание загрязняющих веществ в котором превышает установленное значение норматива качества окружающей среды, млн м³ = 0.

2. Масса размещенных отходов производства и потребления конкретного класса опасности, млн т = 0,6 (строительный мусор – 100 тыс. м³ (IV класс опасности); почвогрунт (0–0,5 м) – 110 тыс. м³ (III и IV классы опасности); неустановленные промышленные отходы различного происхождения – 20 тыс. м³ (III класс опасности)).

3. Площадь территории (акватории), подверженной негативному воздействию (на которой расположен объект накопленного вреда окружающей среде), га = 0,6.

4. Уровень и объем негативного воздействия на окружающую среду, оценивающиеся в зависимости от превышения предельно допустимых концентраций химических веществ, содержащихся в водах водных объектов, атмосферном воздухе, почве = 0,75 (превышение нормативных значений ориентировочно допустимых концентраций по кобальту в 2,2–7,5 раза, никелю – в 2,1–7,2 раза, меди – в 1,1–23 раза, цинку – в 1,7–166 раз, мышьяку – в 6,1–60 раз, ртути – в 1,1–3,2 раза, свинцу – в 1,3–13862 раза, предельно допустимых концентраций (подвижные формы) по никелю – до 7,9 раза, меди – в 1,3–81 раз, цинку – в 1,3–21 раз, свинцу – в 3,5–1733 раза; суммарный показатель загрязнения Zc > 128, что свидетельствует о чрезвычайно опасной категории химического загрязнения почв).

⁹ ПНД Ф Т 14.1:2.4.12-06. Токсикологические методы анализа. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna Straus*) [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293772/4293772638.pdf> (08.12.2022).

¹⁰ Экологический и инженерный мониторинг источников накопленного вреда промышленной площадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» муниципального образования «г. Свирск» и составление укрупненной сметы к выполнению инженерных изысканий: отчет о выполненной работе по договору № 27 от 30.10.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://svirsk.ru/wp-content/uploads/2022/12/Отчет-по-мониторингу-промплощадки-ВСЭ-ИрНИТУ-2021-год.pdf> (08.12.2022).

¹¹ Об утверждении критериев и срока категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых подлежит ликвидации в первоочередном порядке: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 августа 2017 г. № 435 [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201711290029> (08.12.2022).



Результаты количественного химического анализа почвогрунта по основным загрязняющим компонентам промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент»
Results of the quantitative chemical analysis of soils for the main contaminating components of the former Vostsibelement factory industrial site

Номер пробы	Координаты отбора	Глубина отбора, см	Показатель, мг/кг (норматив)				
			Свинец подвижный (ПДК = 6)	Медь подвижная (ПДК = 3)	Цинк подвижный (ПДК = 23)	Мышьяк валовый (ПДК = 2)	Ртуть валовая (ПДК = 2,1)
179	53.087489, 103.352277	0–5	321	0,9	65,5	11,4	0,9
180	53.087495, 103.353730	0–5	1850	6,8	151	18,7	2,4
180	53.087495, 103.353730	60–80	95,1	2,6	12,5	9,6	0,15
181	53.088190, 103.352341	0–20	562	1,2	31,1	12,4	0,16
183	53.089691, 103.356359	0–5	1023	3,6	132	10	4,6
183	53.089691, 103.356359	5–20	665	3,9	164	22	2,3
183	53.089691, 103.356359	20–60	148	3	31,6	40	0,49
183	53.089691, 103.356359	150	31	1	7,6	7,2	0,3
186	53.093226, 103.354197	0–20	131	1,6	8,9	21,3	0,13
188	53.093340, 103.352456	0–20	111	0,9	10,1	14,5	0,031
198*	53.086043, 103.358341	0–20	9,4	0,3	4,7	9,4	0,01
190	53.088465, 103.353637	0–20	1750	5,4	136	19,2	1,2
192	53.089844, 103.354087	0–20	671	3,1	125	12,3	0,74
193	53.090939, 103.355643	0–20	996	2,9	146	11	2,7
194	53.090997, 103.354141	0–20	503	2,2	138	10,2	1,1
195	53.091268, 103.352714	0–20	215	2,8	54,1	10,7	0,36
196	53.092299, 103.354012	0–20	201	3,4	24,5	13,2	0,25
197	53.092370, 103.352531	0–20	112	3,1	27,7	12,5	0,12
182	53.087423, 103.356273	0–20	325	2,3	6,9	21,8	0,16
184	53.089184, 103.352282	0–20	1170	2,2	6,5	18,6	0,037
185	53.089479, 103.352322	0–20	8920	244	79,5	22,4	0,39
187	53.093173, 103.356104	0–20	10400	55,6	285	29,6	0,71
189	53.092264, 103.356308	0–5	4580	113	476	19,6	1,9
191	53.088478, 103.356351	0–20	350	4,1	21,5	11,3	0,33

Примечание. * Разовая точечная проба, отобранная в берегоохранной зоне в двух метрах от уреза береговой линии напротив границы территории промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент».



5. Наличие на объектах накопленного вреда окружающей среде опасных веществ, указанных в международных договорах, одной из сторон которых является Российская Федерация = 0,1 (свинец – 1056 т, цинк – 222 т, мышьяк – 12,7 т, медь – 73,8 т).

6. Количество населения, проживающего на территории, окружающая среда которой испытывает негативное воздействие объекта накопленного вреда окружающей среде, тыс. чел. = 0,6 (12 тыс. чел.).

7. Количество населения, проживающего на территории, окружающая среда которой находится под угрозой негативного воздействия вследствие расположения объекта накопленного вреда окружающей среде, тыс. чел. = 0,4 (12 тыс. чел.).

Следовательно, критерий Π можно рассчитать следующим образом:

$$\Pi = 0 + 0,6 + 0,6 + 0,75 + 0,1 + 0,6 + 0,4 = 3,05.$$

На основе данных количественного химического анализа, приведенных в таблице, с применением программного обеспечения Surfer была построена схема распределения подвижных форм свинца в почве промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» (рис. 3).

Как видно из рис. 3, в почве на территории промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» было выявлено три участка с аномально большим содержанием подвижных форм свинца (более 6000 мг/кг). Первый участок расположен в точке 185. Он включает в себя аккумуляторное производство – цех № 2 по изготовлению свинцово-кислотных аккумуляторов (позиция 9). Второй участок размещается в точке 187. Это крайний

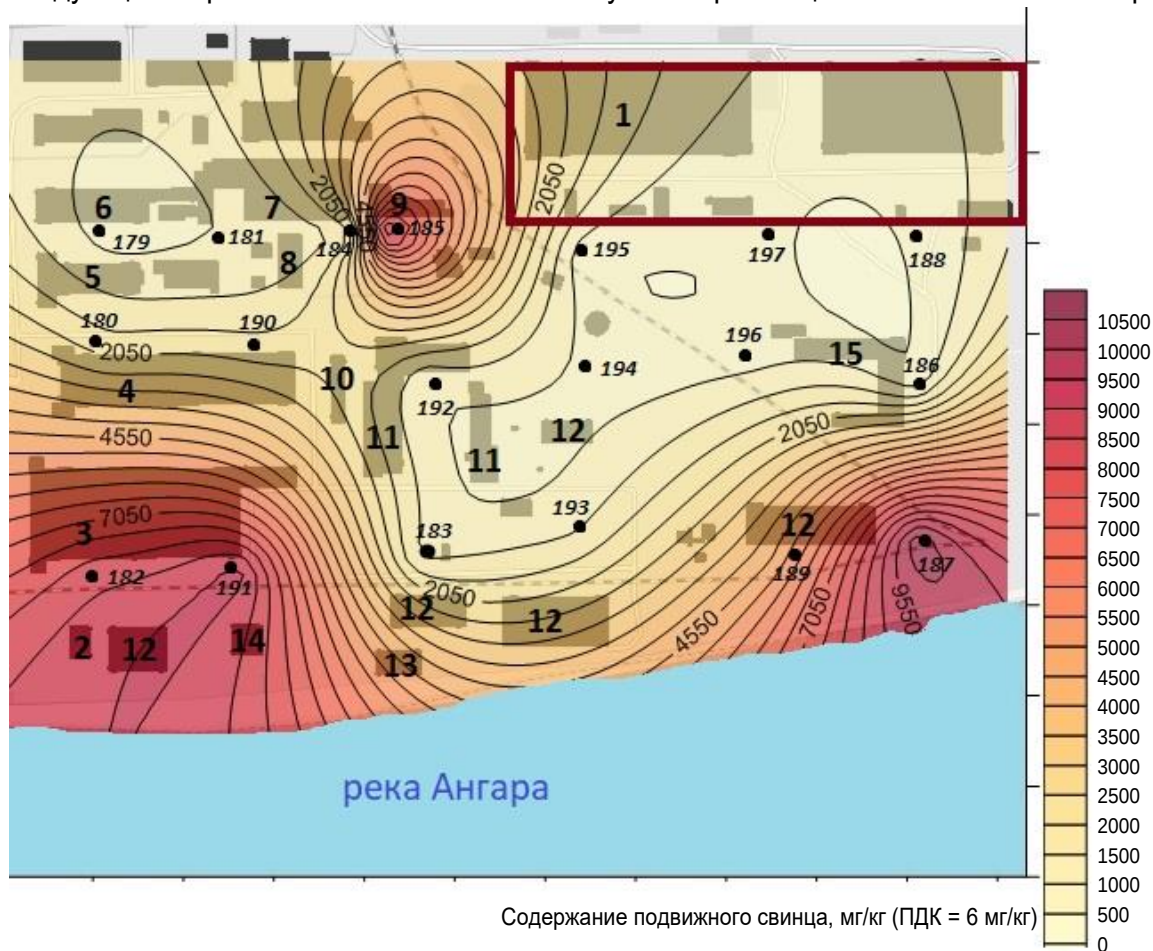


Рис. 3. Схема распределения подвижного свинца в почве промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент»:

1 – действующее предприятие ООО «АкТех»; 2–15 – развалины цехов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент»; ●179 – точки отбора проб

Fig. 3. Diagram of mobile lead distribution in the soil of former Vostsibelement battery factory industrial site:

1 – operating company AkTex (Automotive Batteries); 2–15 – shop ruins of former Vostsibelement battery factory industrial site; ●179 – sampling points



правый по течению Ангары участок промплощадки, протягивающийся вдоль береговой линии (позиция 12). Третий участок располагается в точках 182 и 191 в начале промплощадки по течению реки (позиции 3, 12 и 14). При этом на всей территории промплощадки содержание подвижного свинца в поверхностном слое (0–20 см) не опускается ниже 100 мг/кг, что выше ПДК в 17 раз. Было установлено превышение содержания свинца в лапчатке гусиной (*Potentilla anserina*), которое составило 10 фоновых значений, а также превышение фонового содержания в разовой точечной пробе донных отложений реки Ангары в начале промплощадки, в четырех метрах от уреза береговой линии по свинцу, меди, цинку в 59, 12 и 4,7 раза соответственно.

В Государственном реестре объектов накопленного вреда окружающей среде Российской Федерации по состоянию на 2021 год в Иркутской области поставлено на учет два аналогичных объекта:

- объект негативного воздействия отходов, накопленных в процессе деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, с критерием П, равным 2,25;

- территория, на которой в прошлом осуществлялась экономическая деятельность, связанная с производством химических веществ и химических продуктов на территории городского округа г. Усолье-Сибирское, с критерием П, равным 3,55¹².

Как видно из приведенных данных, объект накопленного вреда промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» с критерием П, равным 3,05, соразмерен по своему негативному воздействию с указанными объектами, потому должен подлежать ликвидации в первоочередном порядке.

На основании полученных данных и представлений о наилучших доступных технологиях (ГОСТ Р57446-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановле-

ние биологического разнообразия»¹³) была предложена концепция технологии рекультивации промплощадки «Востсибэлемент», в основу которой заложены следующие основные этапы технологических решений:

Первый этап: разборка строений и выемка фундаментов IV класса опасности объемом 105 тыс. м³ с применением специальной строительной техники; разделка фрагментов сооружений с извлечением арматуры до кусков крупности, используемых при дорожно-строительных и других возможных типах работ (заполнение выемок карьеров, рельефа и т. п.); отправление арматуры на вывоз и сдачу в качестве вторсырья.

Второй этап: разделка специальных строительных и оставшихся гидротехнических сооружений промплощадки III класса опасности (не более 10 % от общего объема отходов IV класса опасности).

Третий этап: перемещение разделенных строительных отходов IV класса опасности и размещение их на подготовленной площадке временного хранения отходов площадью около 1 га (временная площадка должна быть оптимально расположена на территории промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент», но находиться за пределами водоохранной зоны и иметь санитарно-защитную зону, не охватывающую жилые строения).

Четвертый этап: доставка разделенных строительных отходов III класса опасности, отходов, присущих для аккумуляторного производства и других различных отходов II и III классов опасности и складирование их на Ангарском полигоне промышленных отходов в объеме, возможном для их приема.

Пятый этап: техническая рекультивация земель, которая заключается, в частности, в специальной переработке установленных зон очагов загрязнения грунтов III класса опасности (до 25 % от общей площади) и объема грунтов IV класса опасности, который составляет около 110 тыс. м³:

¹² Сведения, содержащиеся в государственном реестре объектов накопленного вреда окружающей среде (по состоянию на 07.05.2021) [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/docs/svedeniya_soderzhashchiesya_v_gosudarstvennom_reestre_obektov_nakoplenного_vreda_okruzhayushchey_sre2/ (08.12.2022).

¹³ ГОСТ Р57446-2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. Введ. 01.12.2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145085> (08.12.2022).



– сбор и отделение металлических отходов, состоящих из фрагментов аккумуляторных решеток, металлического свинца, железа, меди и т. п. на спецоборудовании (грохот, магнитная сепарация и др.) на площадке временного хранения;

– отделение из грунтов III класса опасности частиц металлического свинца на спецоборудовании (грохот, воздушная сепарация и др.) на площадке временного хранения;

– вывоз на сдачу отделенных металлических отходов свинца, железа и других металлов в качестве вторсырья или их плавка в мобильных металлургических печах на площадках временного хранения с получением товарной продукции;

– завершающий этап технической рекультивации земель промплощадки – планировка, складирование и т. д.

Шестой этап: биологическая рекультивация при помощи растений-фиторе медиантов в два-три этапа с использованием площадки временного хранения отходов (силосная яма и др.).

Седьмой этап: рекультивация площадки временного хранения отходов с передачей всех рекультивированных земель муниципалитету муниципального образования «г. Свирск» с назначением лесопосадки.

Стоит отметить, что существует несколько основных направлений по ремедиации земель, которые загрязнены тяжелыми металлами, таких как культивирование устойчивых к загрязнению культурных и дикорастущих растений; проведение фиторекультивации с помощью растений, способных накапливать тяжелые металлы в вегетативных органах, регулирование подвижности тяжелых металлов в почве с применением сорбентов, создание рекультивационного слоя¹⁴ [14, 15]. На наш

взгляд, одним из наиболее эффективных методов рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами, является регулирование подвижности данных металлов в почве с использованием сорбентов. Сорбционными свойствами по отношению к тяжелым металлам обладают органические вещества, в связи с чем с этой целью могут применяться такие различные искусственные и природные сорбенты, как низовой торф, черноземы, глины, вермикулит [16–18]. При этом в качестве альтернативы технологии биологической рекультивации (шестого этапа) может быть применено техническое решение по использованию в качестве почвогрунта-сорбента вымороженного осадка шлам-лигнина карт-накопителей ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» [19–21].

Заключение

Таким образом, по представленным в статье результатам можно сделать заключение о том, что промышленная площадка бывшего завода «Востсибэлемент» является источником накопленного вреда, а также крайне экологически опасным объектом в связи со своим расположением в черте муниципального образования «г. Свирск» и водоохраной зоны реки Ангары, представляющим потенциальную угрозу всей территории верхней части Братского водохранилища.

Предлагаемые технологические решения рекультивации промышленной площадки бывшего завода «Востсибэлемент», на наш взгляд, являются весьма эффективными как с технико-экономической, так и с правовой и социально-экологической точки зрения и могут быть рассмотрены в качестве вариантов ликвидации накопленного вреда крайне опасного объекта.

Список источников

1. Данилов А.А. Состояние рынка аккумуляторной промышленности // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2014. № 10. С. 43 [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23307799_81917550.pdf (08.12.2022).
2. Добринова Т.В., Харланова В.Н., Реутова Ю.И. Состояние и тенденции развития внешнеэкономиче-

ской деятельности предприятий аккумуляторной промышленности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 1-1. С. 45–50.

3. Михайлова О.С., Булаева Н.М., Мусихина Е.А. Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова территории города Свирска // Мониторинг. Наука и технологии. 2014. № 4. С. 34–40.

¹⁴ Голованов А.И., Зимин Ф.М., Сметанин В.И. Рекультивация нарушенных земель: учебник для студентов вузов. СПб.: Лань, 2015. 326 с.



4. Янин Е.П. Эколого-геохимические аспекты воздействия аккумуляторной промышленности на окружающую среду // Ресурсосберегающие технологии. 2002. № 18. С. 3–33.
5. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). М.: Диалог-МГУ, 1998. 281 с.
6. 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.
7. Бутырин М.В., Замашчиков Р.В., Хуснидинов Ш.К. Оценка степени загрязнения природной среды, сельскохозяйственных растений и показатели здоровья населения г. Свирска Иркутской области // Вестник ИРГСХА. 2015. № 67. С. 17–24.
8. Богданов А.В., Шатрова А.С., Тюкалова О.В. Оценка воздействия промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» Иркутской области на объекты окружающей среды // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 3. С. 52–57. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-3-52-57>.
9. Cressie N. The origins of kriging // Mathematical Geology. 1990. Vol. 22. P. 239–252. <https://doi.org/10.1007/BF00889887>.
10. Новикова А.М., Котолупова А.А. Об опыте использования метода кригинга в программах Surfer и QGIS для морских климатических исследований // Системы контроля окружающей среды. 2016. № 6. С. 59–67.
11. Кошель С.М., Мусин О.Р. Методы цифрового моделирования: кригинг и радиальная интерполяция // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2001. № 2(29)-3(30). С. 23–24.
12. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах: монография. Саратов: Ракурс, 2017. 178 с.
13. Бабкин В.В., Завалин А.Л. Физиолого-биохимические аспекты действия тяжелых металлов на растения // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 5. С. 17–21.
14. Radočaj D., Velić N., Jurišić M., Merdić E. The remediation of agricultural land contaminated by heavy metals // Poljoprivreda. 2020. Vol. 26. No. 3. S. 30–42. <https://doi.org/10.18047/poljo.26.2.4>.
15. Сорокин Н.Д. Рекультивация нарушенных и загрязненных земель. СПб.: Знание, 2016. 404 с.
16. Abollino O., Giacomino A., Malandrino M., Mentasti E. The efficiency of vermiculite as natural sorbent for heavy metals. Application to a contaminated soil // Water, Air, and Soil Pollution. 2007. Vol. 181. P. 149–160. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9286-8>.
17. Yang F., Wang B., Shi Z., Li L., Li Y., Mao Z., et al. Immobilization of heavy metals (Cd, Zn, and Pb) in different contaminated soils with swine manure biochar // Environmental Pollutants and Bioavailability. 2021. Vol. 33. Iss. 1. P. 55–65. <https://doi.org/10.1080/26395940.2021.1916407>.
18. Taylor R.P., Jones C.L.W., Laubscher R.K. Agricultural fertiliser from brewery effluent – the recovery of nutrients from the biomass of activated sludge and high rate algal pond treatment systems // Water Supply. 2021. Vol. 21. Iss. 5. P. 1939–1952. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.256>.
19. Богданов А.В., Федотов К.В., Шатрова А.С. Разработка научно-технических основ для экологически безопасной утилизации накопленных отходов целлюлозно-бумажной промышленности Байкальского региона: монография. Иркутск: ООО «Глазковская типография», 2020. 187 с.
20. Шатрова А.С., Богданов А.В., Шкрабо А.И., Алексеева О.В. Технология переработки отходов целлюлозно-бумажной промышленности в почвогрунты с использованием естественных природных процессов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 8. С. 153–162. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/8/3658>.
21. Bogdanov A.V., Shatrova A.S., Darmaeva L.B., Shkrabo A.I. The use of pulp and paper industry waste as soil for recultivation of disturbed lands // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 667. P. 052005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052005>.

References

1. Danilov A.A. The state of the battery industry market. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyi nauchnyi zhurnal*. 2014;10:43. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23307799_81917550.pdf [Accessed 8th August 2022]. (In Russ.).
2. Dobrinova T.V., Kharlanova V.N., Reutova Yu.I. State and development trends of foreign economic activity of battery industry enterprises. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2019;1-1:45-50. (In Russ.).
3. Mikhailova O.S., Bulaeva N.M., Musikhina E.A. Heavy metal pollution monitoring of soil cover for Svirsk town. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2014;4:34-40. (In Russ.).
4. Yanin E.P. State and development trends of foreign economic activity of battery industry enterprises. *Resurso-sberegayushchie tekhnologii*. 2002;18:3-33. (In Russ.).
5. Yanin E.P. *Electrical engineering industry and environment (ecological and geochemical aspects)*. Moscow: Dialog-MGU; 1998. 281 p. (In Russ.).
6. Gordeeva O.Ya., Belogolova G.A., Grebenshchikova V.I. Distribution and migration of heavy metals and arsenic in "soil – plant" system in Svirsk town conditions (the Southern Baikal region). *Problemy regional'noi ekologii = Regional Environmental Issues*. 2010;3:108-113. (In Russ.).
7. Butyrin M.V., Zamashchikov R.V., Khusnidinov Sh.K. Evaluation of environmental pollution rate of agricultural plants and public health indexes of Svirsk in Irkutsk region. *Vestnik IrGSHA*. 2015;67:17-24. (In Russ.).
8. Bogdanov A.V., Shatrova A.S., Tyukalova O.V. Impact Assessment of the industrial site at former battery plant "Vostsibelement" in Irkutsk region on environmental compartment. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2022;26(3):52-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-3-52-57>.
9. Cressie N. The origins of kriging. *Mathematical Geology*. 1990;22:239-252. <https://doi.org/10.1007/BF00889887>.
10. Novikova A.M., Kotolupova A.A. The experience of



using kriging method in the programmes Surfer and QGIS for marine climate research. *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy = Monitoring systems of environment*. 2016; 6:59–67. (In Russ.).

11. Koshel' S.M., Musin O.R. Digital modeling methods: kriging and radial interpolation. *Informatsionnyi byulleten' GIS-Assotsiatsii = Informational Bulletin of GIS-Association*. 2001;2(29)-3(30):23-24. (In Russ.).

12. Medvedev I.F., Derevyagin S.S. *Heavy metals in ecosystems*. Saratov: Rakurs; 2017. 178 p. (In Russ.).

13. Babkin V.V., Zavalin A.L. Physiological and biochemical aspects of heavy metals action on plants. *Khimiya v sel'skom khozyaistve*. 1995;5:17-21. (In Russ.).

14. Radočaj D., Velić N., Jurišić M., Merdić E. The remediation of agricultural land contaminated by heavy metals. *Poljoprivreda*. 2020;26(3):30-42. <https://doi.org/10.18047/poljo.26.2.4>.

15. Sorokin N.D. *Reclamation of disturbed and contaminated soils*. Saint Petersburg: Znanie; 2016. 404 p. (In Russ.).

16. Abollino O., Giacomino A., Malandrino M., Mentasti E. The efficiency of vermiculite as natural sorbent for heavy metals. Application to a contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2007;181:149-160. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9286-8>.

17. Yang F., Wang B., Shi Z., Li L., Li Y., Mao Z., et al. Immobilization of heavy metals (Cd, Zn, and Pb) in dif-

ferent contaminated soils with swine manure biochar. *Environmental Pollutants and Bioavailability*. 2021;33(1):55-65. <https://doi.org/10.1080/26395940.2021.1916407>.

18. Taylor R.P., Jones C.L.W., Laubscher R.K. Agricultural fertiliser from brewery effluent – the recovery of nutrients from the biomass of activated sludge and high rate algal pond treatment systems. *Water Supply*. 2021;21(5): 1939-1952. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.256>.

19. Bogdanov A.V., Fedotov K.V., Shatrova A.S. *Elaboration of scientific and technical foundations for environmentally safe disposal of accumulated pulp and paper industry waste in the Baikal region*. Irkutsk: Glazkovskaya tipografiya; 2020. 187 p. (In Russ.).

20. Shatrova A.S., Bogdanov A.V., Shkrabo A.I., Alekseeva O.V. Technology for processing waste of the pulp and paper industry into soil ground using natural processes. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022;333(8):153-162. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/8/3658>.

21. Bogdanov A.V., Shatrova A.S., Darmaeva L.B., Shkrabo A.I. The use of pulp and paper industry waste as soil for recultivation of disturbed lands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;667: 052005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052005>.

Информация об авторах / Information about the authors

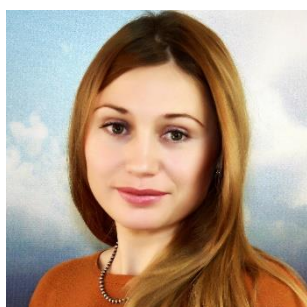


Богданов Андрей Викторович,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры обогащения полезных ископаемых
и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
bogdanovav@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-7519-1126>

Andrey V. Bogdanov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Mineral Processing and Environmental
Protection named after S.B. Leonov,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
bogdanovav@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-7519-1126>



Шкрабо Анна Ивановна,

научный сотрудник Лаборатории экологического мониторинга
природных и техногенных сред,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
bogdanov.lab@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-2018-3751>

Anna I. Shkrabo,

Researcher of the Laboratory for Ecological Monitoring
of Natural and Technogenic Environments,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,



Irkutsk, Russia,
✉ bogdanov.lab@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-2018-3751>



Шатрова Анастасия Сергеевна,
кандидат технических наук,
научный сотрудник Лаборатории экологического мониторинга
природных и техногенных сред,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
shatrova.irk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8054-1680>

Anastasiya S. Shatrova,
Cand. Sci. (Eng.),
Researcher of the Laboratory for Ecological Monitoring
of Natural and Technogenic Environments,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
shatrova.irk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8054-1680>

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 13.01.2023; одобрена после рецензирования 30.01.2023; принята к публикации 14.02.2023.

The article was submitted 13.01.2023; approved after reviewing 30.01.2023; accepted for publication 14.02.2023.