

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Научная статья

УДК 504.064

EDN: LPXNLT

DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-1-66-89

**Территория бывшей промплощадки Ангарского
металлургического завода (г. Свирск) 10 лет спустя:
современное геохимическое состояние и анализ межгодовых
изменений по данным дистанционного зондирования Земли****О.Л. Качор^{a,✉}, В.В. Трусова^b, С.А. Гантимурова^c,
И.Н. Горячев^d, З.Л. Икрамов^e, А.В. Паршин^f**^{a-f}*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*^{b,c,f}*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Резюме. В рамках инициативных геоэкологических исследований, целью которых являлась оценка влияния отходов с промплощадки завода «Востсибэлемент» на экосистему г. Свирска (Иркутская область), были попутно обнаружены аномалии с сильным мышьяковистым и полиметаллическим загрязнением, расположенные в 200 м от границы промплощадки завода «Востсибэлемент» на северо-запад. Частью загрязненного участка является бывшая промплощадка Ангарского металлургического завода, которая была успешно рекультивирована в 2009–2013 гг. В связи с этим встали вопросы детального изучения современной эколого-геохимической обстановки на участке и установления процессов, в результате которых рекультивированный объект снова характеризуется наличием значительного загрязнения. Для оценки современного геохимического состояния проведена четверо более детальная по сравнению с требованиями государственного стандарта эколого-геохимическая съемка, сопровождавшаяся экспрессным рентгенофлуоресцентным анализом проб. В результате на площади более 30 га, из которых 13 га относятся к бывшей промплощадке Ангарского металлургического завода, выявлено наличие загрязнения с превышением нормативов по мышьяку, свинцу, меди и цинку в десятки и сотни раз. При этом установлено изменение характера загрязнения и пространственной локализации основных аномалий относительно изначальной ситуации на 2009 г.: в настоящее время загрязнение сосредоточено на периферийных участках промплощадки и за ее пределами и имеет хаотичный характер (концентрации поллютантов в соседних пробах, даже отобранных по сети 50×50 м, могут отличаться в сотни раз), на рекультивированных с вывозом грунта участках значимое загрязнение отсутствует. Для ретроспективного анализа изменений обстановки на площадке во время рекультивационных работ 2009–2013 гг. и после их завершения вплоть до лета 2022 г. применен анализ данных спутникового мультиспектрального зондирования Земли Landsat и Sentinel. С временным разрешением не хуже одного снимка в месяц проанализированы материалы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, основным информативным показателем выбран нормализованный дифференциальный индекс биомассы растительного покрова (NDVI), явно отражающий факты изменения типа поверхности промплощадки и позволяющий оценить развитие на участке растительности, что является важным косвенным индикатором эколого-геохимической ситуации. В результате установлена хорошая сходимости геохимических и дистанционных данных и показано, что рекультивационные мероприятия были проведены в необходимом объеме и дали заметный результат: явно фиксируются мероприятия по вывозу и завозу условно чистого и условно плодородного грунта, замечен положительный геоботанический эффект от этих мероприятий, выражающийся в изменении типа и увеличении биомассы растительности на рекультивированных участках по сравнению с периферийными участками, оставленными под самозаращение аборигенной растительности. Показано, что через некоторое время этот эффект пропадает и на площади формируется единый тип растительности, однако явных фактов существенного техногенного влияния на промплощадку после окончания мониторинговых мероприятий в 2016 г. по мультиспектральным спутниковым данным не выявлено, на площадке определенно не осуществлялось снятия грунта или завоза больших объемов отходов, растительность развивалась синхронно с фоновыми участками. Таким образом, проведенное исследование позволило достоверно подтвердить факт загрязнения и детально его охарактеризовать, проследить ход рекультивационных мероприятий и доказать наличие положительных экологических эффектов и в то же время опровергнуть гипотезу о возможности вторичного загрязнения в результате явного антропогенного влияния. При этом показано, что проведение геохимических исследований подобных объектов в соответствии с действующими государственными стандартами может приводить к получению искаженных представлений о его состоянии и только большая методическая свобода научных исследований по сравнению с работами в рамках госзаданий позволила выявить хаотичный характер загряз-



нения на периферийных участках площади и за ее пределами. Однако даже достигнутая детальность определенно не позволяет считать представленную в статье эколого-геохимическую характеристику объекта окончательной, представляется необходимым еще минимум четырехкратное сгущение сети пробоотбора. Также остается неизученной степень вероятного «мягкого» постепенного загрязнения промплощадки вследствие переноса и миграции загрязняющих веществ с близлежащих объектов (вплоть до II класса опасности), которые могут быть источниками дополнительного вторичного загрязнения всеми обнаруженными элементами. Таким образом, полученные данные указывают на необходимость проведения дополнительного комплекса инженерно-экологических работ, далеко выходящих за рамки инициативных научных исследований. Методологическим выводом из работы является доказательство эффективности примененного подхода к геоэкологическим исследованиям, который позволил оперативно, достоверно и с низкими затратами оценить современную ситуацию, проанализировать, подтвердить или опровергнуть гипотезы о развитии ситуации и потому может быть успешно использован в других подобных случаях.

Ключевые слова: Свирск, экологический мониторинг, объекты накопленного вреда, Ангарский металлургический завод, Востсибэлемент, рекультивация, дистанционные методы в геоэкологии, тяжелые металлы, почва, загрязнение

Финансирование: Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет 2030» в рамках реализации стратегического проекта Иркутского национального исследовательского технического университета i.GeoDesign.

Для цитирования: Качор О.Л., Трусова В.В., Гантимурова С.А., Горячев И.Н., Икрамов З.Л., Паршин А.В. Территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода (г. Свирск) 10 лет спустя: современное геохимическое состояние и анализ межгодовых изменений по данным дистанционного зондирования Земли // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. № 1. С. 66–89. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-1-66-89>. EDN: LPXNLT.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY, GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

Original article

The former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant (Svirsk, Russia) 10 years later: current geochemical state and interannual change analysis based on Earth remote sensing data

Olga L. Kachor^{a,✉}, Valentina V. Trusova^b, Svetlana A. Gantimurova^c,
Ivan N. Goryachev^d, Ziyoviddin L. Ikramov^e, Alexander V. Parshin^f

^{a-f}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

^{b,c,f}A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract. As part of proactive geoecological research, the purpose of which was to assess the impact of waste from the industrial site of the Vostsibelelement plant on the ecosystem of the town of Svirsk (Irkutsk region), the authors discovered anomalies with strong arsenic and polymetallic contamination located 200 m north-west from the boundary of the industrial site of the “Vostsibelelement” plant. Part of the contaminated site is the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant, which was successfully remediated in 2009–2013. This raised the questions of a detailed study of the current environmental and geochemical situation at the site and identification of the processes causing the presence of significant contamination on the previously successively reclaimed site. To estimate the current geochemical state of the site, an environmental-geochemical survey, which was four times more detailed than the requirements of the state standard, was carried out, accompanied by rapid X-ray fluorescence analysis of samples. As a result, it was found out that on the area of more than 30 hectares, 13 hectares of which belong to the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant, the present pollution exceeded the standards for arsenic, lead, copper and zinc by tens and hundreds of times. At the same time, it was determined that the nature of pollution and the spatial localization of the main anomalies had changed relative to the initial situation in 2009: currently, pollution is concentrated in the peripheral areas of the industrial site and beyond and is chaotic in nature (pollutant concentrations in neighboring samples, even taken over a mesh of 50×50 m, may differ by hundreds of times). The sites reclaimed with soil removal feature no significant contamination. For a retrospective analysis of changes in the situation at the site during reclamation works in 2009–2013 and after their completion, until the summer of 2022, the analysis of Landsat and Sentinel satellite multispectral sensing data was applied. With a time resolution of no worse than one image per month, the materials in the visible and near-infrared range were analyzed. The normalized differential vegetation biomass index (NDVI) was chosen to be the main informative indicator as it clearly reflects the facts of changes in the surface type of the industrial site and allows to assess the vegetation development on the site, which is an important indirect indicator of the environmental and geochemical situation. As a result, a good convergence of geochemical and remote sensing data was established and it was shown that reclamation measures had been carried out



to the required extent and gave a noticeable result: the measures taken to remove the polluted soil and deliver conditionally clean and conditionally fertile soil are clearly recorded. A positive geobotanical effect from these measures is noticeable since there is the change in the vegetation type and biomass increase in the reclaimed areas compared to peripheral areas left for self-overgrowth by native vegetation. It is shown that with the time this effect disappears and a single type of vegetation is formed on the area. However, no obvious facts of significant technogenic impact on the industrial site after the end of monitoring activities in 2016 according to multispectral satellite data were revealed. There was not any soil removal or delivery of large volumes of waste on the site. The vegetation developed synchronously with the background areas. Thus, the study reliably confirmed the fact of pollution and described it in detail, tracked the progress of reclamation measures and proved the presence of positive environmental effects. It also refuted the hypothesis about the possibility of secondary pollution as a result of obvious anthropogenic influence. At the same time, it is shown that geochemical studies of such objects conducted in accordance with current state standards can distort understanding about their condition, while greater methodological freedom of scientific research compared to the work within the framework of government assignments allows to reveal the chaotic nature of pollution in the peripheral areas of the area and beyond. But even the achieved detailed description definitely does not allow us to consider the ecological and geochemical characteristics of the object presented in the article as final as it seems necessary to thicken the sampling mesh at least by four times. The degree of probable "soft" gradual pollution of the industrial site due to the transfer and migration of pollutants from nearby objects (up to II hazard class), which can be sources of additional secondary pollution with all detected elements, also remains unexplored. Thus, the data obtained indicate the need for an additional set of engineering and environmental work that goes far beyond the scope of the proactive scientific research. The methodological conclusion from the work is the proof of the applied approach effectiveness and applicability to geoecological research, which can make it possible to assess the current situation quickly, reliably and at low cost as well as to analyze, confirm or refute the hypotheses about the development of the situation and therefore can be successfully used in other similar cases.

Keywords: Svirsk, environmental monitoring, objects of accumulated harm, Angarsk Metallurgical Plant, Vostsibelemt, reclamation, remote sensing methods in geoecology, heavy metals, soil, pollution

Funding: The work was funded by the "Priority 2030" federal state program as part of the Irkutsk National Research Technical University strategic project "i.GeoDesign".

For citation: Kachor O.L., Trusova V.V., Gantimurova S.A., Goryachev I.N., Ikramov Z.L., Parshin A.V. The former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant (Svirsk, Russia) 10 years later: current geochemical state and interannual change analysis based on Earth remote sensing data. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2024;47(1):66-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-1-66-89>. EDN: LPXNLT.

Введение

По данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ, на конец 2023 г. на территории России выявлено более 2000 потенциальных объектов накопленного вреда¹. При этом отсутствует достоверная информация о степени их воздействия на окружающую среду, здоровье и продолжительность жизни граждан². На решение этой проблемы в частности направлен федеральный проект «Генеральная уборка», призванный реализовать усовершенствованную систему ликвидации накопленного вреда окружающей среде [1]. Функции обследования и оценки объектов накопленного вреда должны осуществляться Росприроднадзором с привлечением подведомственных федеральных государственных

бюджетных учреждений на основании госзадания², однако это не исключает инициативных исследований, реализуемых в рамках научных программ и грантов Министерства науки и образования Российской Федерации и других ведомств. Таким способом были получены значительные объемы актуальной эколого-геохимической информации об объектах накопленного вреда как в целом по стране, так и в Байкальском регионе [2–8]. Хотелось бы отметить, что в отличие от обследований и инженерно-экологических работ, выполняемых в рамках государственных программ, научные геоэкологические исследования не ограничены набором методов, детальностью исследований, временным периодом и так далее, то есть имеют гораздо большую методи-

¹ Перечень объектов накопленного экологического вреда // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Режим доступа: https://mnr.gov.ru/opendata/7710256289-objects_of_accumulated_environmental_damage (дата обращения: 20.12.2023).

² Порядок выявления, обследования, оценки, ликвидации: Госдума одобрила законопроект, который создает правовые механизмы для реализации федпроекта «Генеральная уборка» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/press/news/poryadok_vyyavleniya_obsledovaniya_otsenki_likvidatsii_gosduma_odobrila_zakonoproekt_kotoryy_sozdaye/ (дата обращения: 20.12.2023).



ческую свободу, что потенциально позволяет получать более расширенную информацию.

Институт «Сибирская школа геонаук» Иркутского национального исследовательского технического университета в рамках реализации федерального проекта «Приоритет 2030» ставит своей задачей повышение качества образования будущих геоспециалистов, в связи с чем реализует ряд учебных дисциплин в формате исследовательской и проектной работы. В некоторые образовательные программы интегрированы социально-значимые кейсы по исследованию геоэкологической обстановки различных населенных пунктов Иркутской области. Вовлеченность большого количества студентов позволяет ежегодно решать масштабные исследовательские задачи^{3,4}.

В 2021–2022 гг. в число таких объектов исследования вошел г. Свирск с фокусом на

бывшую промплощадку завода «Востсибэлемент», занимавшегося выпуском аккумуляторов до 1999 г. В ходе проведения комплекса геоэкологических работ было установлено, что данная площадка представляет собой объект накопленного вреда окружающей среде с отходами до II класса опасности [9]. Для изучения возможного влияния этого объекта накопленного вреда на компоненты окружающей среды за пределами промплощадки были проведены исследования с отбором проб природных объектов траверсами по направлению розы ветров (рис. 1). Преобладающее направление ветра в городе северо-западное и юго-восточное. В юго-восточном направлении от промплощадки находится водный объект – река Ангара, к северо-западу расположены промышленные зоны и садоводческие территории.

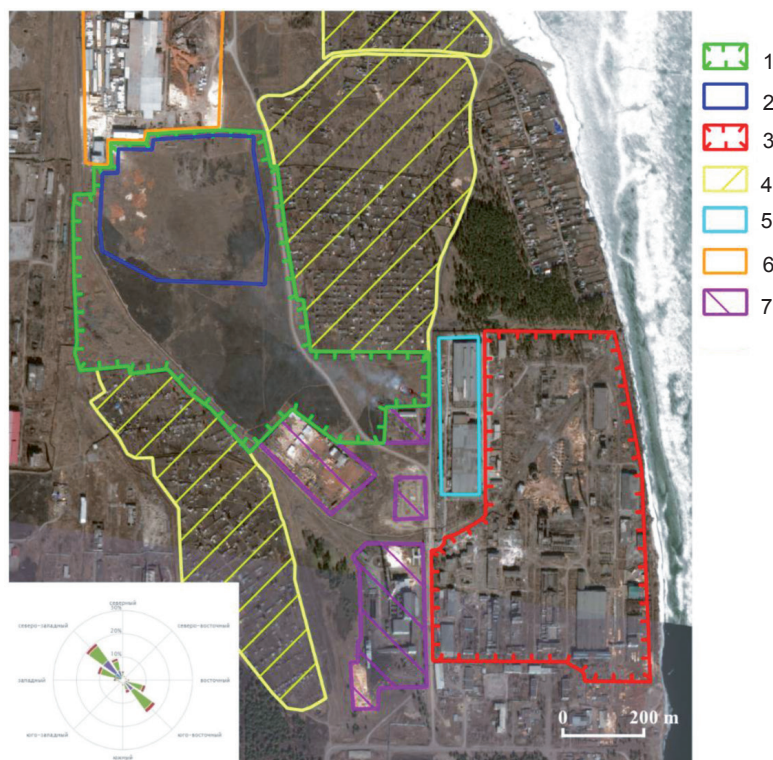


Рис. 1. Схема расположения промплощадки завода «Востсибэлемент» и близлежащих территорий:
1 – исследованная территория; 2 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода; 3 – бывшая промплощадка завода «Востсибэлемент»; 4 – садоводства;
5 – территория завода «АкТех»; 6 – территория предприятия «ТМ Байкал»;
7 – прочие промышленные территории

Fig. 1. Layout of the industrial site of the Vostsibelelement plant and surrounding areas:
1 – explored area; 2 – reclaimed territory of the former industrial site of Angarsk metallurgical plant; 3 – former industrial site of the Vostsibelelement plant; 4 – horticultural cooperatives;
5 – AkTech plant territory; 6 – “TM Baikal” enterprise territory; 7 – other industrial areas

³ Результаты инициативных исследований Сибирской школы геонаук по программе «Приоритет 2030» вошли в госдоклад Иркутской области // ИРНИТУ. Режим доступа: <https://www.istu.edu/novosti/pub/73299> (дата обращения: 20.12.2023).

⁴ SSG ИРНИТУ изучает состав снега для создания ГИС, отображающей качество воздуха в Иркутске и Свирске // ИРНИТУ. Режим доступа: <https://www.istu.edu/novosti/pub/65666> (дата обращения: 20.12.2023).



В результате изучения состояния почвы, снежного покрова и растительности на территориях, находящихся в зоне атмосферного переноса загрязняющих веществ с промплощадки завода «Востсибэлемент», была обнаружена зона общей площадью 35–40 га со значительно повышенными содержаниями свинца, мышьяка, меди, цинка, никеля [10], расположенная в 200 м к северо-западу от промплощадки завода «Востсибэлемент» и отделенная от последней территорией завода «АкТех» (см. рис. 1). Далее по розе ветров расположено предприятие «ТМ Байкал», занимающееся деревопереработкой. Примерно в то же время аналогичные данные были независимо получены и другими исследователями [11–15].

Интересно, что выявленная зона включает территорию бывшего Ангарского металлургического завода (АМЗ) площадью 13 га, которая являлась объектом накопленного вреда, и была успешно рекультивирована в 2009–2013 гг. [16–19]. Рекультивация проводилась с целью снятия острой социально-экологической проблемы и предполагала последующее использование участка под природоохранные цели с открытым доступом для жителей города, поэтому установление причины возникновения загрязнения на рекультивированной площадке является весьма актуальной задачей. Таким образом, целью данного исследования является детальное изучение выявленной аномалии и попытка реконструкции изменения экологической обстановки на рекультивированной территории бывшей промплощадки АМЗ с помощью данных многолетней космической съемки.

На бывшей промплощадке АМЗ, занимавшегося переработкой арсенопиритовых руд в период с 1934 по 1949 г., в рамках Федеральной целевой программы с 2009 по 2013 гг. проводились работы по проекту «Ликвидация очага загрязнения мышьяком территории промышленной площадки Ангарского металлургического завода в районе г. Свирска Иркутской области». Источниками загрязнения выступали мышьяковистые огарки, строительные конструкции основных цехов завода и загрязненный почвогрунт (рис. 2), расположенные в центральной части промплощадки. В целом территория бывшей промплощадки харак-

теризовалась существенной изменчивостью концентраций приоритетных загрязняющих веществ: от 40 до 9000 мг/кг по мышьяку, от 40 до 18000 мг/кг по свинцу, от 90 до 7300 мг/кг по цинку и от 20 до 3000 мг/кг по меди [16]. Следует отметить, что приведенные концентрации получены в результате пробоотбора по ГОСТ 17.4.3.01-83 «Общие требования к отбору проб», согласно которому минимально допустимое количество проб на территорию в 13 га составляет всего 3 пробы в случае однородного почвенного покрова и 13 проб – в случае неоднородного.

Работы включали в себя экологическую оценку объекта накопленного вреда и разработку технологии его ликвидации, непосредственно обезвреживание и вывоз всех отходов АМЗ за пределы г. Свирска с их дальнейшим захоронением, и проводились в две стадии. Первая стадия осуществлялась в 2012 г. на площади 10,5 га. Наиболее загрязненный почвогрунт с территории в 4,5 га, в том числе с мест размещения особо опасных бывших цехов завода, был обезврежен и вывезен для захоронения на полигон. На этом участке проводилась техническая и биологическая рекультивация с выборкой грунта объемом 9000 м³, завозом условно плодородного грунта в объеме 7700 м³, устройство плодородного слоя почвы мощностью 0,2 м и объемом 3300 м³ с внесением минеральных и органических удобрений, посадкой многолетней травы – овсяницы. Рекультивация на площади 6 га, где размещались почвогрунты периферийных участков промплощадки АМЗ со средней концентрацией мышьяка, сопоставимой со средней концентрацией в селитебной зоне почв г. Свирска (100 мг/кг), по данным Иркутского Центра лабораторного анализа и технических измерений относящиеся к IV классу опасности, заключалась в выборке и планировке почвогрунта участка, срезке насыпей искусственного происхождения в объеме около 2000 м³ и засыпке имеющихся на территории промплощадки выемок⁵ [19].

Вторая стадия рекультивации проводилась в 2013 г. на оставшихся 2,5 га – участке под огарками. Грунт на этой территории после вывозки огарков на полигон выбирался на глубину в среднем от 0,5 до 1,5 м. Затем был завезен условно чистый грунт в размере 30000 т,

⁵ Качор О.Л. Разработка научно-практических основ ликвидации накопленного экологического ущерба от мышьяковистых отходов горно-перерабатывающей промышленности: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.36. Иркутск, 2019. 407 с.



Рис. 2. Расположение отходов (огарки, строительные конструкции) на промплощадке Ангарского металлургического завода на 2009 г.:

1 – контуры бывших корпусов Ангарского металлургического завода; 2 – контуры отвалов (огарков);
3 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода

Fig. 2. Waste location (cinders, wrecks of building structures) at the industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant in 2009:

1 – contours of the former buildings of the Angarsk Metallurgical Plant; 2 – dump (cinders) contours;
3 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant

после чего – плодородная почва в объеме 5250 т с дальнейшей планировкой участка. После проведения работ были выполнены прикопы рекультивированного участка и отобраны пробы почвы: на отметке 0,9 м расположен первоначальный грунт промплощадки АМЗ, далее идет уплотненный условно плодородный грунт мощностью 0,3–0,4 м, сверху которого находится уплотненный плодородный слой почвы мощностью до 0,2 м (рис. 3)⁵ [19].

По полученным результатам количественного химического анализа, выполненного лабораторией Роспотребнадзора и лабораторией экологического мониторинга природных и техногенных сред Иркутского национального исследовательского технического университета, концентрация мышьяка в почвогрунте рекультивированного участка изменялась от 7,9 до 11 мг/кг.



Рис. 3. Замер глубины траншеи выбираемого почвогрунта с промплощадки Ангарского металлургического завода, 2013 г. (фото авторов)

Fig. 3. Measuring the trench depth of the selected soil from the industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant, 2013 (authors' image)



Участки завершенных работ по рекультивации 2012 г., в том числе с мест размещения особо опасных бывших цехов завода площадью в 4,5 га с наиболее загрязненным почвогрунтом, хорошо видны на космоснимках того времени (рис. 4). Также хорошо заметен участок после технической и перед началом биологической рекультивации в 2013 г. (см. светлый участок под бывшим местом расположения огарков на рис. 4).

На основании полученных положительных результатов проведенных мероприятий был оформлен соответствующий акт приемки-сдачи работ по рекультивации промплощадки АМЗ с решением передачи этой территории Комитету по управлению муниципальным имуществом администрации муниципального образования «город Свирск» для дальней-

шего использования под природоохранные и санитарно-гигиенические цели⁵. При этом следует отметить, что речь идет об участке площадью около 13 га, расположенном в пределах крайне неблагоприятной эколого-геохимической обстановки: многими научными коллективами не раз отмечалась необходимость реабилитации всей территории г. Свирска, так как в течение 70-летнего негативного влияния АМЗ токсиканты накопились в объектах окружающей среды всего населенного пункта и продолжают оказывать пагубное воздействие, даже несмотря на ликвидацию промплощадки и проведенную на ней рекультивацию [20–27]. Таким образом, ставший условно чистым участок со всех сторон окружают объекты с отходами вплоть до II степени опасности [9] и действующие промышленные предприятия.



Рис. 4. Космоснимок рекультивированной бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода на 2013 г.:

1 – контуры бывших корпусов Ангарского металлургического завода; 2 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода

Fig. 4. A satellite image of the reclaimed former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant in 2013:

1 – contours of the former buildings of the Angarsk Metallurgical Plant; 2 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant

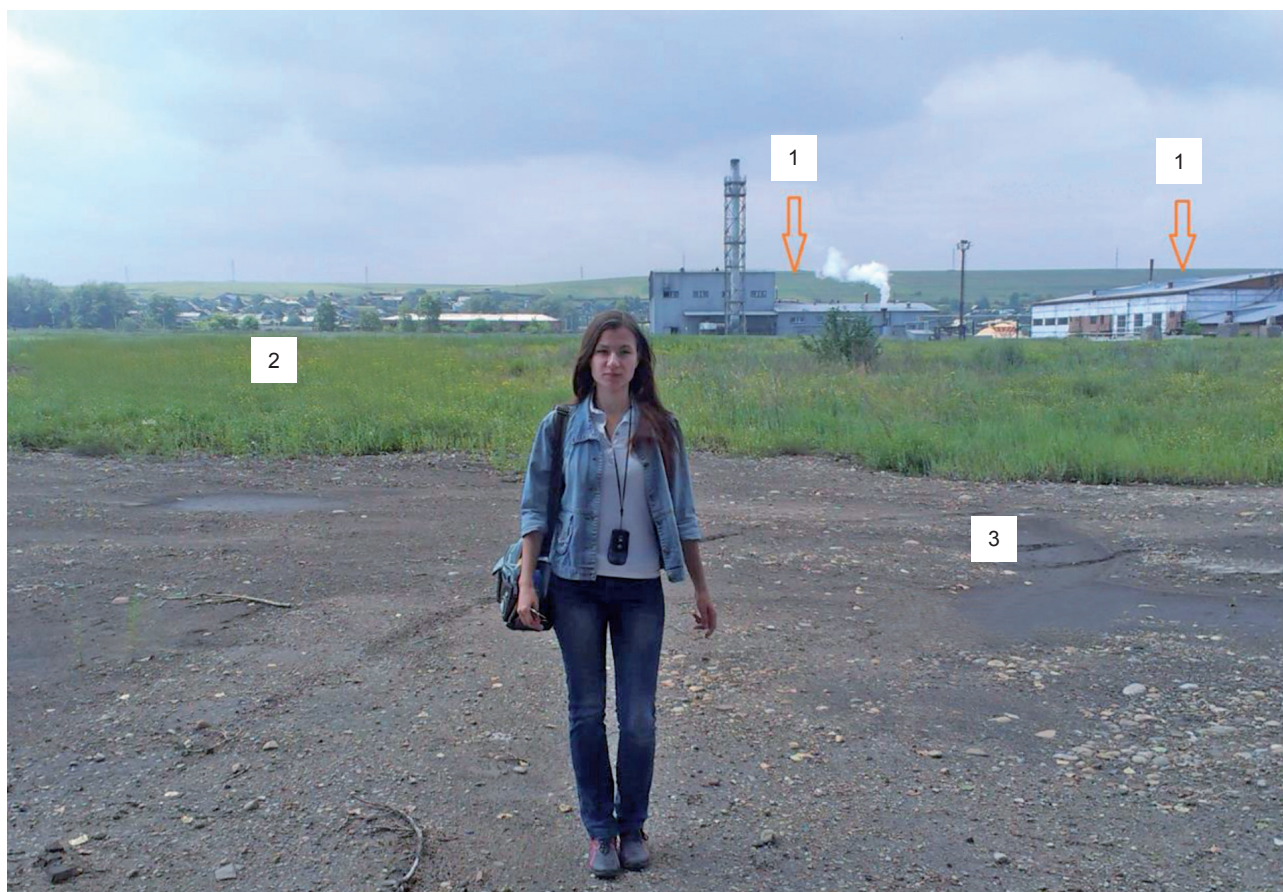


Рис. 5. Фотография с пробоотбора на рекультивированной территории бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода, 2016 г. (фото авторов):

1 – предприятие «ТМ Байкал»; 2 – рекультивированная территория; 3 – подъездная дорога
Fig. 5. An image from sampling on the reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant, 2016 (authors' image):
1 – “TM Baikаl” enterprise; 2 – reclaimed area; 3 – access road

Проводимые в 2015–2016 гг. плановые работы по оценке результативности рекультивационных мероприятий с визуальным осмотром территории показали ожидаемое активное зарастание засеянного участка (рис. 5).

Материалы и методы исследования

Эколого-геохимические исследования.

Для изучения актуального геоэкологического состояния участка была проведена площадная геохимическая съемка. Отбор проб почв на территории более 35 га, включая 13 га бывшей промплощадки АМЗ, проводился летом 2022 г. (рис. 6). Принимая во внимание имеющийся опыт исследования сложных природно-антропогенных объектов [9], сеть опробования на рекультивированной территории бывшей промплощадки АМЗ была сгущена в несколько раз относительно рекомендованной государственным стандартом. Всего профилями было отобрано 168 проб почвогрун-

та, сетка отбора проб на территории бывшей промплощадки – 50×50 м, на остальной территории – 100×100 м. Отбор проб для определения концентрации металлов и мышьяка в почвогрунте проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 методом точечной пробы послойно с глубин 0–5 и 5–20 см пластиковыми шпателями, вес каждой пробы составлял около 1 кг.

Пробоподготовка проводилась в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». Пробы почвогрунта рассыпались на бумаге тонким слоем, из нее выбирали включения (корни растений, камни, стекло и др.) и высушивали на рассеянном свете в хорошо вентилируемом помещении до воздушно-сухого состояния. При этом распределяли почвогрунт слоем не более 5 см. Далее пробы растирались в ступке пестиком и просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм. Для опреде-



Рис. 6. Карта пробоботбора почв на территории к северо-западу от завода «Востсибэлемент», включая рекультивированную территорию бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода:

- 1 – точки отбора проб; 2 – исследованная территория; 3 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода; 4 – садоводства; 5 – территория завода «АкТех»; 6 – территория предприятия «ТМ Байкал»; 7 – прочие промышленные территории

Fig. 6. A map of soil sampling in the area to the northwest from the Vostsibelement plant including the reclaimed area of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant:

- 1 – sampling points; 2 – explored area; 3 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant; 4 – horticultural cooperatives; 5 – AkTech plant territory; 6 – “TM Baikal” enterprise territory; 7 – other industrial areas

ления валового содержания тяжелых металлов и мышьяка из просеянной пробы отбирали представительную пробу массой не менее 20 г методом квартования: проба почвогрунта тщательно перемешивалась, распределялась тонким слоем на бумаге, делилась на четыре равные части. Две части из четырех по диагонали объединялись, две другие отбрасывались. Данную процедуру повторяли до получения требуемого количества почвы. Подготовленная данным образом проба истиралась в ступке до пудрообразного состояния.

Из каждой пробы для уменьшения влияния случайных ошибок были изготовлены три порошкообразных образца, которые помещались в специальные кюветы для определения концентрации тяжелых металлов и мышьяка.

Количественный химический анализ проб проводился по ГОСТ 33850-2016. Для повышения оперативности и детальности оценки состояния почв использовался неструктив-

ный химический анализ методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии с использованием портативного анализатора SciAps серии «X200 Geochemistry» в режиме «Почва». Такой подход позволяет получать химико-аналитические данные высокого качества с низкими затратами, что увеличивает плотность сетей пробоботбора при проведении инициативных исследований, не обеспеченных значительным финансированием [28–31].

Дистанционное зондирование земли. Геохимическое опробование позволяет изучить современное геоэкологическое состояние промплощадки, но не позволяет исследовать процесс его становления. Поэтому для изучения процессов, которые происходили на объекте с момента начала мероприятий по рекультивации и до современного (на 2023 г.) состояния, применялся анализ данных мультиспектрального спутникового дистанционного зондирования Земли, который позволяет получить прямые и косвенные данные о территории с временным разрешением от 1 до 10 снимков каждый месяц, в зависимости от погоды и используемой группировки спутников.

Для анализа изменений обстановки на промплощадке в данной работе представлены картограммы научно-обоснованного показателя NDVI (нормализованный вегетационный индекс растительности) – простого показателя количества фотосинтетически активной биомассы. Данный показатель в определенной точке снимка рассчитывается как разница интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне спектра электромагнитного излучения, деленная на сумму их интенсивностей ($NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$). В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,75–1 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему – в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. Использование же не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом



Таблица 1. Используемые спутниковые системы и их характеристики
Table 1. Used satellite systems and their characteristics

Спутник	Период, г.	Разрешение снимков (мультиспектр), м	Красный канал, нм	Ближний инфракрасный канал, нм
Landsat 7	До 2013	30	0,631–0,692	0,772–0,898
Landsat 8	2013–2017	30	0,636–0,673	0,851–0,879
Sentinel-2	2017–2022	10	665 (центр)	842 (центр)

отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр. [32].

Большинство спутниковых систем имеют соответствующие спектральные каналы в красном и инфракрасном диапазоне, что позволяет получать сопоставимые картографические материалы даже в случаях, когда весь временной промежуток исследования не обеспечен данными единой системы наблюдений, то есть как в нашем случае: до 2013 г. из открытых и бесплатных источников данных дистанционного зондирования Земли для нас были доступны материалы радиометра Landsat ETM+ (Landsat-7), однако с 2003 г. этот спутник функционировал в аварийном режиме и имел определенные проблемы с данными. В мае 2013 г. (уже после завершения рекультивации) на орбиту вышел следующий спутник программы – Landsat 8, характеризующийся сходными оптическими и радиометрическими параметрами (табл. 1). С 2017 г. стали доступны данные втрое более высокого пространственного разрешения программы Sentinel-2. В целом на период с 2009 по 2023 г. применялись данные спутниковых систем, отображенные в табл. 1.

Следует отметить, что индекс NDVI имеет достаточно стандартизованную классификацию, позволяющую не только относительно оценивать количество фотосинтезирующей биомассы, но и определять тип поверхности (табл. 2), что вполне соответствует задаче данного исследования, поскольку позволяет легко выявить нарушения растительного покрова, снятие почвенного слоя или аномально хорошее или аномально плохое развитие растительности в течение сезона. Такие косвенные индикаторы безусловно будут сопровождать и маркировать ведущую хозяйственную деятельность – как позитивную, так и негативную, а отсутствие заметного влияния на участок можно будет зафиксировать по синхронному с фоновыми участками развитию растительного покрова.

Таблица 2. Стандартная классификация картограмм NDVI
Table 2. Standard classification of NDVI index maps

Тип объекта	Значение NDVI
Густая растительность	0,7
Разреженная растительность	0,5
Открытая почва	0,025
Облака	0
Снег и лед	-0,05
Вода	-0,25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	-0,5

В отношении последней упомянутой позиции следует дополнительно отметить, что напрямую сравнивать между собой снимки с разных радиометров на полностью количественном уровне методологически не вполне корректно (например, июль 2013 г. и июль 2017 г.), поскольку, как видно из табл. 1, для расчета параметра используются несколько разные спектральные окна, сами снимки могут приходиться на различные дни месяца, и климатическая обстановка в различные годы также неодинакова. Поэтому в данной статье картограммы NDVI даются в непрерывных легендах одной цветовой шкалы, а акцент делается на сопоставлении обстановки на площадке с обстановкой на фоновых участках с нормально растущей растительностью в соседних садоводствах, лесах, парках.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 7–9 представлены карты распределения содержаний свинца, мышьяка и цинка на исследуемой территории. В большинстве проб почвогрунта зафиксировано превышение концентрации мышьяка относительно ОДК 10 мг/кг (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями на 30 декабря 2022 г.), в отдельных пробах отмечается превышение норматива в сотни раз. Содержания свинца (ОДК 130 мг/кг) в отдельных пробах превышает установленный норматив до сотни раз, меди (ОДК 132 мг/кг) и цинка (ОДК 55 мг/кг) в десятки раз.

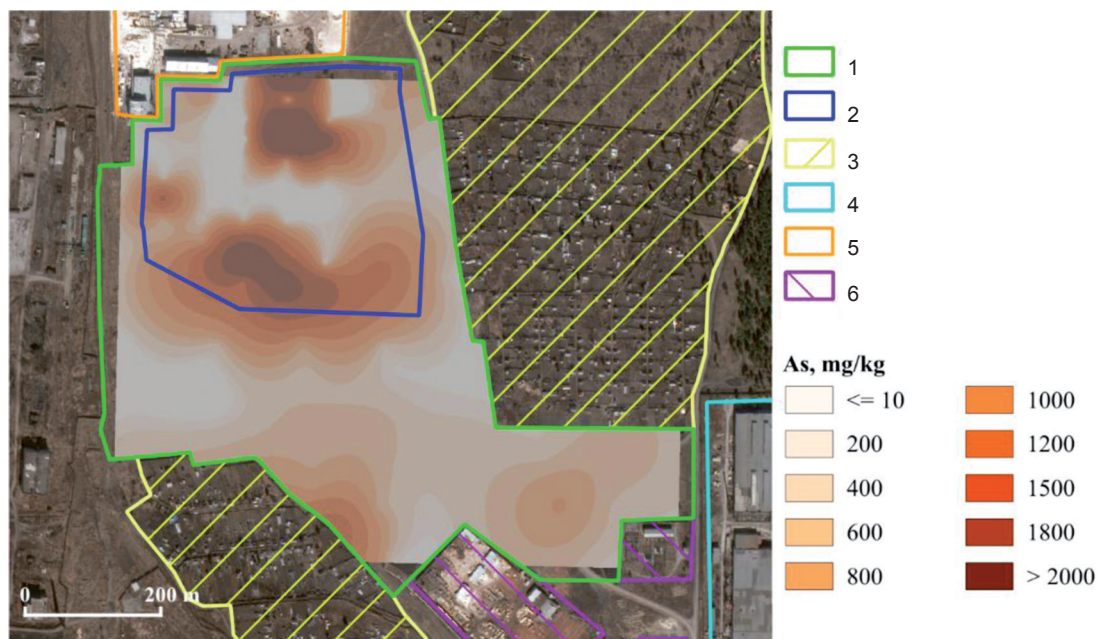


Рис. 7. Карта распределения валового содержания мышьяка на изучаемой территории (в горизонте 0–5 см):

1 – исследованная территория; 2 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода; 3 – садоводства; 4 – территория завода «АкТех»; 5 – территория предприятия «ТМ Байкал»; 6 – прочие промышленные территории

Fig. 7. Distribution map of gross arsenic content in the area under investigation (in the horizon from 0 to 5 cm):

1 – explored area; 2 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant; 3 – horticultural cooperatives; 4 – AkTech plant territory; 5 – “TM Baikаl” enterprise territory; 6 – other industrial areas

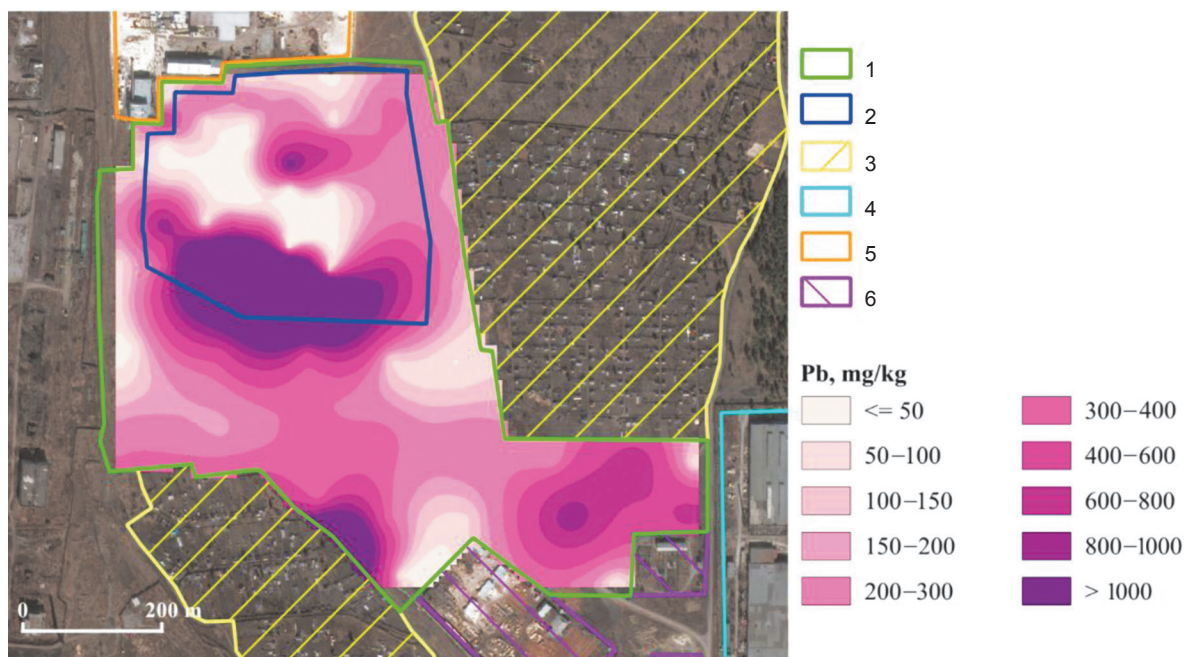


Рис. 8. Карта распределения валового содержания свинца на изучаемой территории (в горизонте 0–5 см):

1 – исследованная территория; 2 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода; 3 – садоводства; 4 – территория завода «АкТех»; 5 – территория предприятия «ТМ Байкал»; 6 – прочие промышленные территории

Fig. 8. Distribution map of gross lead content

in the area under investigation (in the horizon from 0 to 5 cm):

1 – explored area; 2 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant; 3 – horticultural cooperatives; 4 – AkTech plant territory; 5 – “TM Baikаl” enterprise territory; 6 – other industrial areas

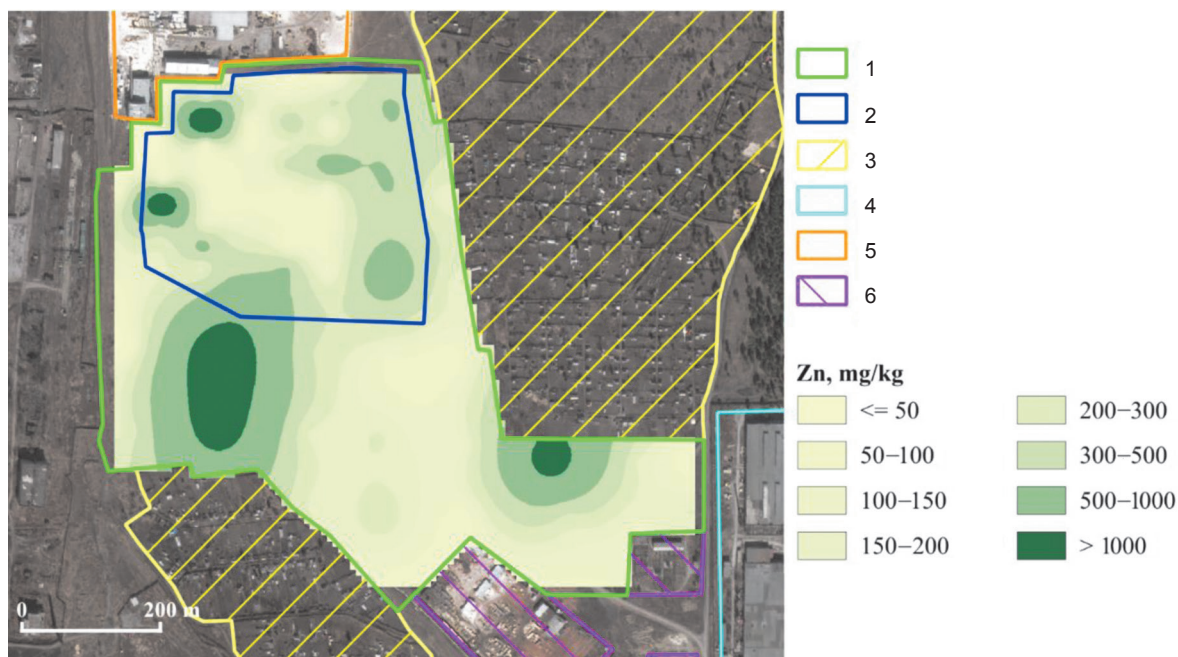


Рис. 9. Карта распределения валового содержания цинка на изучаемой территории (в горизонте 0–5 см):

1 – исследованная территория; 2 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода; 3 – садоводства; 4 – территория завода «АкТех»; 5 – территория предприятия «ТМ Байкал»; 6 – прочие промышленные территории

Fig. 9. Distribution map of gross zinc content in the area under investigation (in the horizon from 0 to 5 cm):

1 – explored area; 2 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant; 3 – horticultural cooperatives; 4 – AkTech plant territory; 5 – “TM Baikal” enterprise territory; 6 – other industrial areas

Как видно из рис. 7 и 8, ореолы распространения содержаний мышьяка и свинца имеют схожий характер и в границах бывшей промплощадки АМЗ относятся к ее периферийным участкам, на которых по проекту рекультивации не был предусмотрен вывоз грунта и завоз плодородного слоя, поскольку концентрации загрязняющих веществ по данным опережающего опробования соответствовали средним концентрациям в почвах селитебной зоны г. Свирска, имела аборигенная растительность, и они были оставлены под самозаращение (см. рис. 2).

Как и следовало ожидать, наиболее чистые участки в границах промплощадки точно повторяют контуры территории в 2,5 га, на которой проходили наиболее масштабные работы по рекультивации с выборкой грунта на глубину от 0,5 до 1,5 м, завозом условно плодородной почвы и высеванием многолетней травы. До реализации проекта здесь были локализованы основные ореолы свинцового и цинкового загрязнения, что вполне логично объясняется химическим составом исходной руды, включающей в себя как арсенопирит, так и галенит и сфалерит [33, 34].

Следует отметить, что работы по госконтракту не предусматривали детальных обследований площади за пределами промплощадки, поэтому исходную ситуацию по уровню ее загрязнения установить сложно. Однако, как мы видим из рис. 7–9, даже использованная нами сеть 100×100 м не позволяет считать полученную эколого-геохимическую картину загрязнения этого участка достоверной ввиду крайней неравномерности выявленных аномалий.

Кроме того, в результате визуальных наблюдений на территории промплощадки выявлены зоны захламления отходами различного происхождения: строительные, лесопереработки и т. д. (рис. 10).

Эти новые зоны захламления также визуально выделяются и на современных космоснимках (рис. 11), на данных прошлых лет (см. рис. 4) они отсутствуют. Однако местоположение данных отходов не в полной мере совпадает с обнаруженными наиболее интенсивными ореолами концентраций основных загрязняющих веществ (см. рис. 7–9), по всей видимости они не являются приоритетными источниками загрязнения мышьяком и тяжелыми металлами.



Рис. 10. Отходы неустановленного происхождения на бывшей промплощадке Ангарского металлургического завода, 2022 г. (фото авторов)
Fig. 10. Waste of unknown origin at a former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant, 2022 (authors' image)



Рис. 11. Расположение отходов неустановленного происхождения на рекультивированной территории бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода (космоснимок, 2020 г.):
1 – границы рекультивированной территории бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода; 2 – контуры бывших корпусов Ангарского металлургического завода; 3 – отходы
Fig. 11. Location of waste of unknown origin on the reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant (space image, 2020):
1 – boundaries of the reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant factory; 2 – contours of the former buildings of the Angarsk Metallurgical Plant; 3 – waste



В связи с полученными геохимическими данными неизбежно возникает вопрос о том, были ли выполнены все предусмотренные проектом рекультивационные мероприятия в полном объеме, либо же произошло значительное вторичное загрязнение изучаемой территории. В обоих случаях произвести ретроспективный анализ позволяют данные многолетней мультиспектральной спутниковой съемки. Например, индекс биомассы растительности NDVI научно-обоснованно показывает характер поверхности (почва, вода, техногенные объекты, трава, кустарниковая растительность и так далее) и позволяет оценить динамику изменений [35–38].

Ниже приведены картограммы индекса NDVI по годам с момента начала проведения рекультивации по 2022 г. (момент отбора проб почв). Представленные в статье карты относятся к середине июля.

Как видно из рис. 12, на территории промплощадки АМЗ в ходе проведения работ по рекультивации со снятием загрязненного грунта и завозом плодородной почвы (2012–2013 гг.) зеленая биомасса еще отсутствует, что соответствует проектным условиям.

В 2014 г. (рис. 13) явно выделяется участок, на котором биомасса растительности значительно выше, чем в среднем по исследуемому

району, включая садоводства. Действительно, этот участок относится к территории с максимально масштабными работами по рекультивации – подогарочная зона с выемкой загрязненного грунта до 1,5 м, завозом плодородной почвы в максимальном объеме относительно остальной промплощадки, внесением минеральных и органических удобрений, засевом наиболее подходящей (выбранной Сибирским институтом физиологии и биохимии растений СО РАН) многолетней травы. Результаты спутниковых наблюдений показывают, что эти мероприятия привели к очевидному эффекту. В то же время на участках, оставленных под самозаращение, отмечается медленная антропогенная сукцессия.

Спустя несколько лет (см. 2016 и 2017 гг. на рис. 13) биомасса растительности выравнивается по всей территории промплощадки: по всей видимости, на всем участке теперь произрастают одинаковые виды растительности. Однако, как видно из картограмм, на некоторых локальных участках самозаращение идет медленнее. Это участки под бывшим цехом автоспецоборудования и южной окраиной промплощадки, где значительные строительные конструкции и отвалы огарков отсутствовали, в связи с чем до начала работ по проекту в целом отмечались сопоставимые со сред-

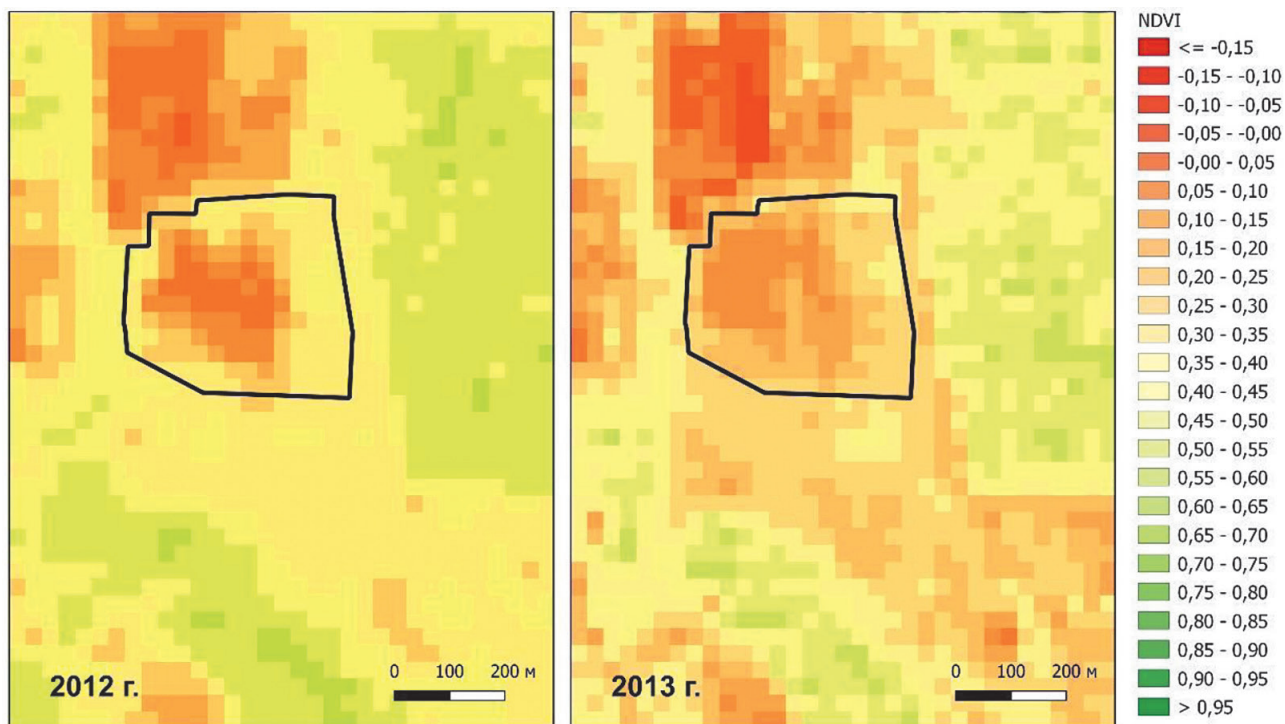


Рис. 12. Картограммы индекса NDVI для изучаемого района, включая рекультивированную территорию бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода в 2012 и 2013 гг.
Fig. 12. NDVI index maps for the area under investigation including the reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant in 2012 and 2013

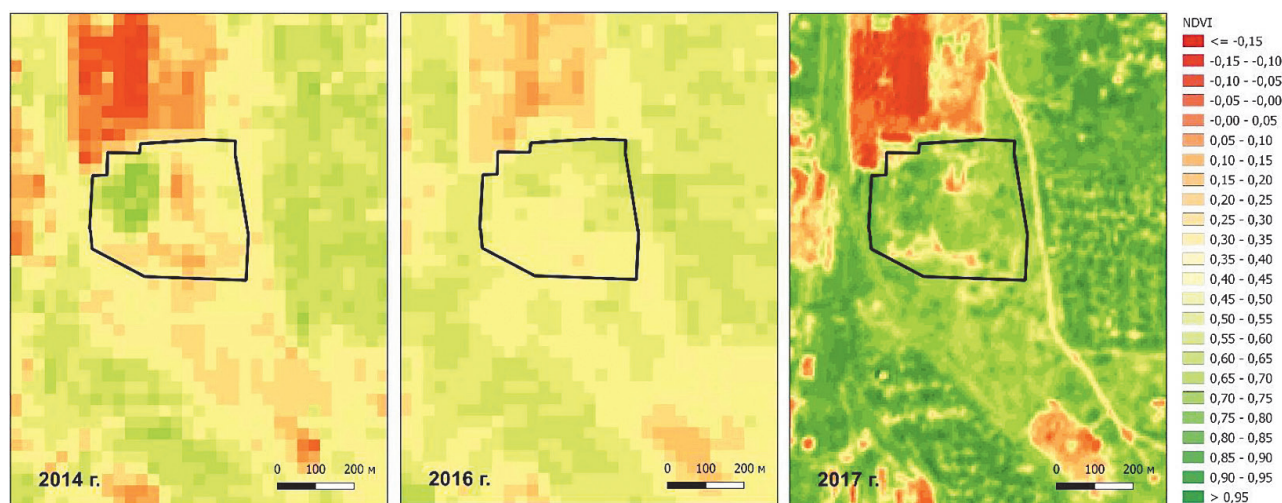


Рис. 13. Картограммы индекса NDVI для изучаемого района, включая рекультивированную территорию бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода в 2014, 2016 и 2017 гг.

Fig. 13. NDVI index maps for the area under investigation including the reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant in 2014, 2016 and 2017

ним содержанием по г. Свирску концентрации загрязняющих веществ, выемка грунта и завоз плодородной почвы не производилась.

Данные последних лет (начиная с 2017 г.) получены Sentinel-2 и имеют более высокое пространственное разрешение, однако это не влияет на результаты интерпретации спутниковых снимков, поскольку в первую очередь мы сравниваем характер растительности на промплощадке с растительностью в садоводствах. Видно, что и в 2016, и в 2017 г. значения параметра NDVI на территории промплощадки и на территориях садоводств, на которых происходит регулярное вмешательство человека в отношении улучшения продуктивности биомассы, примерно аналогичны, что сви-

детельствует о благоприятных абиотических факторах на территории бывшей промплощадки.

В 2019 г. и в последующие годы при сопоставлении биомассы в границах промплощадки и биомассы садоводств ситуация на промплощадке принципиально не меняется (рис. 14). По всей видимости эколого-геохимическая и геоботаническая ситуация остается неизменной, что не свидетельствует в пользу значительных вторичных техногенных воздействий, связанных с серьезными вмешательствами, например, с завозом или снятием грунта.

В результате применения комплекса геохимических и спутниковых исследований

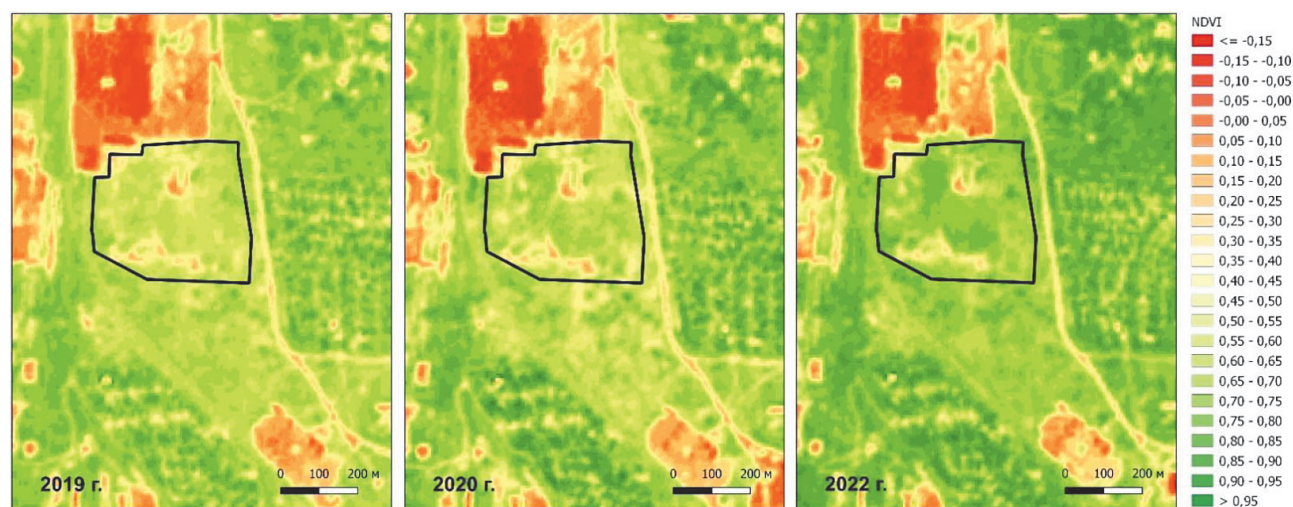


Рис. 14. Картограммы индекса NDVI для изучаемого района, включая рекультивированную территорию бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода в 2019, 2020 и 2022 гг.

Fig. 14. NDVI index maps for the area under investigation including the reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant in 2019, 2020 and 2022



получены противоречивые выводы. С одной стороны, аномальное текущее состояние промплощадки несомненно, с другой стороны, анализ спутниковых данных убедительно фиксирует как весь ход рекультивации, так и ее положительные результаты, проявляющиеся в том числе в характере изменений растительного покрова. И при этом по спутниковым данным мы не видим какого-либо масштабного вмешательства в обстановку на площадке с момента завершения работ по рекультивации.

Полученные данные свидетельствуют скорее о возможной недооцененности загрязнения периферийных участков промплощадки и смежных с ними частей площади, что вполне возможно из-за хаотичного характера загрязнений, высокой изменчивости концентраций и сомнительной возможностью адекватной характеристики эколого-геохимической обстановки по стандартной сети опробования, особенно в связи отсутствием каких-либо предпосылок для подозрений о наличии значимых аномалий на этой территории (деятельность завода данную территорию не затрагивала). На рис. 15 приведены два варианта оценки эколого-геохимического состояния 13 га промплощадки по соответствующей государственному стандарту сети из 13 точек, полученные

на основе двух выборок из всего массива отобранных проб. Как можно заметить, результаты оценки отличаются принципиально.

Представленные на рис. 15 результаты наилучшим образом визуализируют тезис о необходимости применения для геоэкологического изучения подобных сложных объектов плотных некондиционных сетей пробоотбора вплоть до 25×25 м. Даже с нашей гораздо более детальной съемкой (50×50 м) выявленные аномалии по обе границы бывшей промплощадки обнаруживают лишь единичные, но значительно повышенные концентрации загрязняющих веществ, полностью выявить которые при стандартной съемке 100×100 м представляется маловероятным. В связи с тем, что за границами промплощадки мы также использовали стандартизованную сеть 100×100 м, велика вероятность промаха в выявлении точечных загрязнений на сопряженной территории и «размазывании» выявленных ореолов загрязнений. Однако из полученных данных очевидно, что вся неосвоенная территория представляет собой особую зону антропогенного влияния различного характера и всю ее необходимо подвергнуть детальной съемке.

Таким образом, одной из причин возникновения наблюдаемых в настоящее время

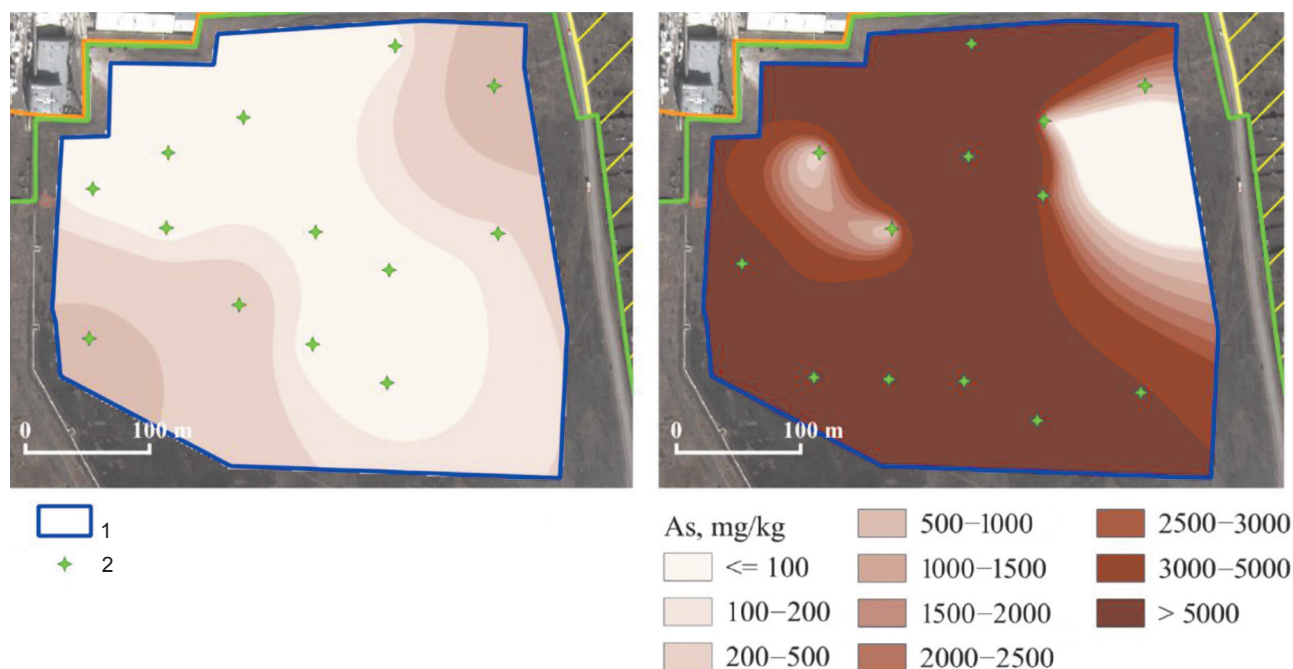


Рис. 15. Картограммы распределения мышьяка на участке по результатам двух различных выборок:
1 – рекультивированная территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода;
2 – выбранные для расчета точки

Fig. 15. Interpretative maps of arsenic distribution at the site based on the results of two different samples:
1 – reclaimed territory of the former industrial site of the Angarsk Metallurgical Plant;
2 – points selected for calculation



ореолов загрязнения токсикантами могли послужить единичные точечные концентрации загрязняющих веществ по обе стороны условной границы промплощадки АМЗ, которые за последние 10 лет диффундировали в более чистые зоны после проведения мероприятий по рекультивации территории, и вполне вероятно, что при отсутствии соответствующих мероприятий по ремедиации всех сопряженных территорий, со временем они распространятся и на всю ранее рекультивированную территорию бывшей промплощадки АМЗ, приведя к усреднению концентраций токсикантов по всей обследованной территории. Кроме того, следует учесть наличие, но невозможно оценить степень влияния на участок параллельно идущего мягкого (постепенного) вторичного загрязнения промплощадки с сопряженных территорий, которые характеризуются высоким загрязнением мышьяком и тяжелыми металлами. Имеющиеся у нас данные говорят о том, что такой перенос объективно существует как с ветровой эрозией [10], так и в результате миграции с ближайших загрязненных участков. Кроме того, химический состав верхнего слоя загрязненной почвы на изучаемой территории в целом сопоставим с геохимической специализацией загрязнения грунта на близрасположенной промплощадке завода «Востсибэлемент», на которой к тому же ведется активная деятельность по разбору зданий и сооружений и выемке металлоконструкций, что ведет к значительному повышению, например, пылепереноса.

В пользу предложенной гипотезы о причинах и механизмах формирования современной геохимической обстановки на участке свидетельствует то, что долговременное постепенное загрязнение не должно было явным образом проявиться в данных дистанционного зондирования Земли, но косвенным проявлением было бы как раз наблюдаемое постепенное подавление аборигенной растительностью специально высаженной при рекультивации травы, которая вряд ли успела бы адаптироваться к существенному негативному изменению геохимической обстановки.

Заключение

Таким образом, полученные данные не позволяют точно установить причину аномального загрязнения, но позволяют обоснованно отвергнуть сразу обе базовые гипотезы исследования, которые представлялись взаимоисключающими: и о невыполненной рекультивации, и о вторичном загрязнении в результате направленного антропогенного воздействия. Созданные информационно-картографические материалы дают новую информацию о эколого-геохимической обстановке на изучаемом участке, но несмотря на достаточно плотную сеть геохимических исследований все равно представляются авторам нуждающимися в дополнительном уточнении. Важным фактором успешности исследования является количественный XRF-анализ с помощью мобильной аппаратуры, поскольку проведение тысяч элементоопределений для сотен проб в рамках по существу студенческих исследований, не обеспеченных значительным финансированием, было бы невозможным.

Для однозначного понимания сложившейся ситуации и достоверного установления вероятного источника (или источников) вторичного загрязнения необходимо провести комплексные инженерно-исследовательские работы по детальным сетям пробоотбора не хуже 25×25 м, включающие как полномасштабные дорогостоящие аналитические исследования, например, рентгеноструктурный анализ, так и комплекс технологических работ, включающий в том числе бурение. Однако проведение такого комплекса работ в рамках инициативных научных исследований является невозможным, в том числе и по юридическим причинам. В то же время предложенная методология изучения современного геохимического состояния и ретроспективного изучения изменения ситуации в прошлом позволила с незначительными затратами и при этом вполне обоснованно получить новую социально значимую информацию и позволяет разработать наиболее рациональный план дальнейшего изучения участка.

Список источников

1. Петрова А.С. Реализация экологических проектов Госкорпорацией «Росатом» // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 28–34. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-4-028-034>. EDN: LQZLNV.
2. Ашихмина Т.Я., Скугорева С.Г., Адамович Т.А., Товстик Е.В. Оценка состояния поверхностных водных объектов в районе полигона захоронения ядохимикатов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 104–111. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-104-111>. EDN: YEGIGM.



3. Дрегуло А.М., Родионов В.З. «Горячие точки» ХЕЛКОМ: животноводческий комплекс «Пашский» как объект накопленного вреда окружающей среде // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 49–54. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-049-054>. EDN: FSHOOV.
4. Кондакова Л.В., Безденежных К.А., Ашихмина Т.Я. Альгологический анализ состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 23–29. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-023-029>. EDN: ZSJTTV.
5. Кузьмин М.И., Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Хомутова М.Ю. Воздействие сточных вод и атмосферных выбросов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) на озеро Байкал // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 28. С. 51–57. EDN: QJINMV.
6. Nikanorov A.M., Reznikov S.A., Matveev A.A., Arakelyan V.S. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Lake Baikal basin in the areas of intensive anthropogenic impact // Russian Meteorology and Hydrology. 2012. Vol. 37. Iss. 7. P. 477–484. <https://doi.org/10.3103/S1068373912070072>. EDN: RFZUXT.
7. Руш Е.А. Ртутное загрязнение р. Ангара в зоне действия химического комбината // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 11. С. 21–24. EDN: PXIEQX.
8. Якимова Н.Л., Соседова Л.М. Ретроспективный анализ ртутного загрязнения производственной среды в цехах ОАО «Усольехимпром» и «Саянскимпласт» // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2009. № 5-6. С. 71–74. EDN: LLWIKL.
9. Качор О.Л., Паршин А.В., Трусова В.В. Комплексный подход к геоэкологической оценке объектов накопленного вреда // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 65–71. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-065-071>. EDN: ADEBVY.
10. Качор О.Л., Паршин А.В., Трусова В.В., Курина А.В. Установление масштабов негативного влияния промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» на объекты окружающей среды // Технологии переработки отходов с получением новой продукции: материалы IV рос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 30 ноября 2022 г.). Киров: Изд-во ВятГУ, 2022. С. 247–250. EDN: ODGNBY.
11. Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Эколого-геохимическая оценка соединений мышьяка и свинца в техногенной почве г. Свирска // Современные направления развития геохимии: материалы рос. конф. (с участием зарубежных ученых) (г. Иркутск, 21–25 ноября 2022 г.). Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2022. С. 45–48. EDN: RCFLSB.
12. Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Меринов А.В., Журба О.М. Анализ распределения и накопления подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах урбанизированной территории г. Свирска (Иркутская область) // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 9. С. 56–60. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-9-56-60>. EDN: UYGORC.
13. Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Оценка загрязнения техногенных почв мышьяком в г. Свирске после ликвидации Ангарского металлургического завода // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXIX рос. молодежн. конф. (г. Иркутск, 11–16 мая 2021 г.). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2021. С. 17–18. EDN: ZXGWJJ.
14. Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А., Чупарина Е.В., Просекин С.Н., Долгих П.Г., Пастухов М.В. Распределение содержания свинца и формы его соединений в техногенной почве г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 8. С. 205–214. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/8/3670>. EDN: KDNQGI.
15. Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Содержание мышьяка в почве на территории бывшего Ангарского металлургического завода г. Свирска после рекультивации нарушенных земель // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: материалы VI рос. молодежн. науч. конф. (г. Улан-Удэ, 23–27 августа 2021 г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2021. С. 8–10. <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0604-6-2021-8-10>. EDN: JTUFEU.
16. Богданов А.В., Качор О.Л. Технология переработки отвалов пиromеталлургического производства // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. № 5. С. 136–144. EDN: OJDFDZ.
17. Качор О.Л., Сидоров И.М., Чайка Н.В., Шатрова А.С. Мониторинг загрязнений снежного покрова района МО «город Свирск» // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10. С. 82–86. EDN: RGSXNR.
18. Богданов А.В., Качор О.Л., Абарина Н.Г. Обезвреживание мышьяксо-содержащих отходов горно-металлургической промышленности // Российский химический журнал. 2013. Т. 57. № 1. С. 75–78. EDN: UGDOUL.
19. Богданов А.В., Качор О.Л., Федотов К.В., Чайка Н.В. Ликвидация последствий деятельности мышьяково-го производства горно-перерабатывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2014. № 5. С. 31–35. EDN: SCDGJB.
20. Кузьмина О.В., Пройдакова О.А., Янчук Т.М. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2015. Т. 11. С. 81–92. EDN: TSXKOZ.
21. Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Дорошков А.А. Эколого-геохимические особенности городских экосистем Прибайкалья // Проблемы устойчивого развития региона: IX школа-семинар молодых ученых России, посвященная 70-летию академика РАН Арнольда Кирилловича Тулохонова (г. Улан-Удэ, 03–07 июля 2019 г.). Улан-Удэ, 2019. С. 99–101.
22. Качор О.Л., Чайка Н.В., Бальчинова Я.Э. Рекультивация земель, загрязненных мышьяком и тяжелыми металлами в МО «г. Свирск» // Образование России и актуальные вопросы современной науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 13–14 июня 2018 г.). Пенза: Изд-во ПГАУ, 2018. С. 145–151. EDN: XZWPTV.
23. Бутырин М.В., Замашиков Р.В., Хуснидинов Ш.К. Оценка степени загрязнения природной среды, сельскохозяйственных растений и показатели здоровья населения г. Свирска Иркутской области // Вестник ИргХХА. 2015. № 67. С. 17–24. EDN: TYCLBH.



24. Меринов А.В., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Журба О.М. Оценка содержания тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов в почве г. Свирска Иркутской области // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 9. С. 1018–1022. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1018-1022>. EDN: DIEVTH.
25. Grebenshchikova V.I., Efimova N.V., Doroshkov A.A. Chemical composition of snow and soil in Svirsk city (Irkutsk Region, Pribaikal'e) // Environmental Earth Sciences. 2017. Vol. 76. Iss. 20. P. 712. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7056-0>. EDN: ZTKBBX.
26. Кузьмина О.В., Димова Л.М., Янчук Т.М. Анализ загрязнения среды г. Свирска (Иркутской области) тяжелыми металлами с использованием метода географических информационных систем (ГИС) // Вопросы естествознания. 2014. № 2. С. 12–18. EDN: SNGFDT.
27. Богданов А.В., Качор О.Л., Шатрова А.С., Чайка Н.В. Рекультивация земель, загрязненных отходами горно-перерабатывающей промышленности с использованием отходов целлюлозно-бумажной промышленности // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2. С. 96–102. <https://doi.org/10.21285/0301-108X-2016-55-2-96-102>. EDN: WAXNER.
28. Uvarova Yu.A., Baensch A.T., Verrall M., Cleverley J.S. Coupled XRF and XRD analyses for rapid and low-cost characterization of geological materials in the mineral exploration and mining industry // Explore. Newsletter for the Association of Applied Geochemists. 2014. Iss. 162. P. 1–14.
29. Sarala P., Koskinen H. Application of the portable X-Ray Diffraction (pXRD) analyser in surficial geological exploration // Geologi. 2018. Vol. 70. P. 58–68.
30. González S.G., Cuervo V.G. Geotechnologies XRF and LIBS portable useful to characterize oil seep and oil-show drilling. 2018. 10 p.
31. Демьянюк К.В., Хабеева Д.А., Бутакова Е.С., Качор О.Л. Оценка экологического состояния промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» // Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения): материалы рос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 26 ноября 2021 г.). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. С. 71–75. EDN: JLZOBQ.
32. Дубинин М. NDVI – теория и практика // GIS-Lab. 2002. Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 20.12.2023).
33. Раков Л.Т., Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д. Элементы-примеси в кварце месторождений золота Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье, Россия): данные электронного парамагнитного резонанса // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 2. С. 72–92. <https://doi.org/10.31857/S0016-777061272-92>. EDN: PXUDXP.
34. 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. EDN: TDXDAB.
35. Ульянцева Ю.О. Об использовании космических изображений при изучении биомассы и продуктивности растительных сообществ в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2015. Т. 1. № 4. С. 61–66. EDN: WWSQDX.
36. Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Геопространственный региональный анализ фотосинтетически активной биомассы по данным дистанционного зондирования Земли // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2020. № 1. С. 186–194. EDN: OQRZFS.
37. Галченко Ю.П., Калабин Г.В., Озарян Ю.А. Методика геоинформационного мониторинга природно-технических систем на основе данных дистанционного зондирования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 68–78. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2020-1-1-68-78>. EDN: TPYLOC.
38. Кутявина Т.И., Рутман В.В., Ашихмина Т.Я. Дистанционный мониторинг зарастания высшей водной растительностью акватории эвтрофированного водохранилища // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 36–40. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-036-040>. EDN: XBWXKK.

References

1. Petrova A.S. Implementation of environmental projects by Rosatom state corporation. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2023;4:28-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-4-028-034>. EDN: LQZLNV.
2. Ashihmina T.Ya., Skugoreva S.G., Adamovich T.A., Tovstik E.V. Assessment of the state of surface water bodies in the area of the landfill for pesticides. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2021;1:104-111. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-104-111>. EDN: YEGIGM.
3. Dregulo A.M., Rodionov V.Z. HELCOM “Hot Spots”: cattle-breeding complex “Pashskiy” as the object of accumulated environmental damage. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;4:49-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-049-054>. EDN: FSHOOV.
4. Kondakova L.V., Bezdenezhnyh K.A., Ashihmina T.Ya. Algological analysis of soil condition in the area of “Maradykovskij” facility after termination of its operation. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2019;1:23-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-023-029>. EDN: ZSJTTV.
5. Kuz'min M.I., Tarasova E.N., Mamontova E.A., Mamontov A.A., Khomutova M.Yu. The impact of Baikal Pulp and Paper Mill (BPPM) wastewater and atmospheric emissions on Lake Baikal. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2013;28:51-57. (In Russ.) EDN: QJINMV.
6. Nikanorov A.M., Reznikov S.A., Matveev A.A., Arakelyan V.S. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Lake Baikal basin in the areas of intensive anthropogenic impact. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2012;37(7):477-484. <https://doi.org/10.3103/S1068373912070072>. EDN: RFZUXT.



7. Rush E.A. Mercury pollution of the Angara within the area of operation of the chemical enterprise. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Engineering*. 2003;11:21-24. (In Russ.). EDN: PXIEQX.
8. Yakimova N.L., Sosedova L.M. Retrospective analysis of mercury contamination of production environment in the shops of joint-stock "Ussolyechimprom" and "Sayanskchimplast". *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2009;5-6:71-74. (In Russ.). EDN: LLWIQL.
9. Kachor O.L., Parshin A.V., Trusova V.V. An integrated approach to the geocological assessment of accumulated damage objects. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2022;4:65-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-065-071>. EDN: ADEBVY.
10. Kachor O.L., Parshin A.V., Trusova V.V., Kurina A.V. Determination of adverse impact of the former Vostsibelemt plant industrial site on environmental objects. In: *Tekhnologii pererabotki otkhodov s polucheniem novoi produktsii: materialy IV ross. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem = Waste processing technologies to produce new products: materials of the 4th Russian scientific and practical conference with international participation*. 30 November 2022, Kirov. Kirov: Vyatka State University; 2022, p. 247-250. (In Russ.). EDN: ODGNBY.
11. Baenguev B.A., Belogolova G.A. Ecological and geochemical assessment of arsenic and lead compounds in technogenic soil of Svirsk. In: *Sovremennye napravleniya razvitiya geokhimii: materialy ross. konf. (s uchastiem zarubezhnykh uchenykh) = Modern directions of geochemistry development: materials of the Russian conference (with the participation of foreign scientists)*. 21–25 November 2022, Irkutsk. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS; 2022, p. 45-48. (In Russ.). EDN: RCFLSB.
12. Shayakhmetov S.F., Merinov A.V., Merinov A.V., Zhurba O.M. Analysis of distribution and accumulation of mobile forms of heavy metals and arsenic in soils of the urbanized territory of Svirsk (Irkutsk region). *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2023;27(9):56-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-9-56-60>. EDN: UYGORC.
13. Baenguev B.A., Belogolova G.A. Assessment of arsenic contamination of technogenic soils in Svirsk after the liquidation of the Angarsk metallurgical plant. In: *Stroenie litosfery i geodinamika: materialy XXIX ross. molodezhn. konf. = Lithosphere structure and geodynamics: proceedings of the 29th Russian youth conference*. 11–16 May 2021, Irkutsk. Irkutsk: Institute of the Earth Crust SB RAS; 2021, p. 17-18. (In Russ.). EDN: ZXGWJJ.
14. Baenguev B.A., Belogolova G.A., Chuparina E.V., Prosekin S.N., Dolgikh P.G., Pastukhov M.V. Distribution of lead content and its compound forms in technogenic soil of the town of Svirsk (South Baikal Region). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022;333(8):205-214. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/8/3670>. EDN: KDNQGI.
15. Baenguev B.A., Belogolova G.A. Arsenic content distribution in soil on the territory of the former Angarsk metallurgical plant of Svirsk after disturbed land reclamation. In: *Bajkal'skaya molodezhnaya nauch. konf. po geologii i geofizike: materialy VI ross. molodezhn. nauch. konf. = Baikal youth scientific conference on geology and geophysics: proceedings of the 6th Russian youth scientific conference*. 23-27 August 2021, Ulan-Ude. Ulan-Ude: Buryat Scientific Centre SB RAS; 2021, p. 8-10. (In Russ.). <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0604-6-2021-8-10>. EDN: JTUFUJ.
16. Bogdanov A.V., Kachor O.L. Processing technology for pyrometallurgical waste dumps. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Gornyy zhurnal*. 2010;5:136-144. (In Russ.). EDN: OJDFDZ.
17. Kachor O.L., Sidorov I.M., Chaika N.V., Shatrova A.S. Snow cover pollution monitoring in "town of Svirsk" municipal formation area. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2013;10:82-86. (In Russ.). EDN: RGXSNR.
18. Bogdanov A.V., Kachor O.L., Abarinova N.G. Decontamination of arsenic-containing wastes of the mining and metallurgical industry. *Rossiiskij himicheskij zhurnal*. 2013;57(1):75-78. (In Russ.). EDN: UGDOUL.
19. Bogdanov A.V., Kachor O.L., Fedotov K.V., Chaika N.V. Remediation of arsenic production effects of mining and processing industry. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2014;5:31-35. (In Russ.). EDN: SCDGJB.
20. Kuz'minova O.V., Proydakova O.A., Yantchuk T.M. The heavy metal pollution assessment in the environmental components of Svirsk city (Irkutsk region). *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya = The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Biology. Ecology"*. 2015;11:81-92. (In Russ.). EDN: TSXKOZ.
21. Grebenshchikova V.I., Kuz'min M.I., Doroshkov A.A. Ecological and geochemical features of urban ecosystems in the Baikal region. In: *Problemy ustojchivogo razvitiya regiona: IX shkola-seminar molodykh uchenykh Rossii, posvyashchennaya 70-letiyu akademika RAN Arnol'da Kirillovicha Tulokhonova = Problems of sustainable development of the region: 9th School-Seminar of young scientists of Russia dedicated to the 70th anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences Arnold Kirillovich Tulokhonov*. 03-07 July 2019, Ulan-Ude. Ulan-Ude; 2019, p. 99-101. (In Russ.).
22. Kachor O.L., Chaika N.V., Balchinova Ya.E. Reclamation of lands contaminated with arsenic and heavy metals in the MOD "City of Svirsk". In: *Obrazovanie Rossii i aktual'nye voprosy sovremennoi nauki: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf. = Education of Russia and topical issues of modern science: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference*. 13–14 June 2018, Penza. Penza: Penza State Agrarian University; 2018, p. 145-151. (In Russ.). EDN: XZWPTV.
23. Butyrin M.V., Zamashchikov R.V., Husnidinov Sh.K. Assessing pollution degree of natural environment, agricultural plants and population health indicators in the city of Svirsk, Irkutsk region. *Vestnik IrGSKHA*. 2015;67:17-24. (In Russ.). EDN: TYCLBH.
24. Merinov A.V., Alekseenko A.N., Shayakhmetov S.F., Zhurba O.M. Assessment of the content of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil of the city of Svirsk, Irkutsk region. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2022;101(9):1018-1022. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1018-1022>. EDN: DIEVTH.



25. Grebenshchikova V.I., Efimova N.V., Doroshkov A.A. Chemical composition of snow and soil in Svirsk city (Irkutsk Region, Pribaikal'e). *Environmental Earth Sciences*. 2017;76(20):712. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7056-0>. EDN: ZTKBBX.
26. Kuzminova O.V., Dimova L.M., Yanchuk T.M. Analysis of heavy metal pollution of environment in the town of Svirsk (Irkutsk region) by the geographic information system (GIS) method. *Voprosy estestvoznaniya*. 2014;(2):12-18. (In Russ.). EDN: SNGFDT.
27. Bogdanov A.V., Kachor O.L., Shatrova A.S., Chaika N.V. Recultivation of lands contaminated by wastes of mining and processing industry using wastes of pulp and paper industry. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2016;2:96-102. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/0301-108X-2016-55-2-96-102>. EDN: WAXNER.
28. Uvarova Yu.A., Baensch A.T., Verrall M., Cleverley J.S. Coupled XRF and XRD analyses for rapid and low-cost characterization of geological materials in the mineral exploration and mining industry. *Explore. Newsletter for the Association of Applied Geochemists*. 2014;162:1-14.
29. Sarala P., Koskinen H. Application of the portable X-Ray Diffraction (pXRD) analyser in surficial geological exploration. *Geologi*. 2018;70:58-68.
30. González S.G., Cuervo V.G. *Geotechnologies XRF and LIBS portable useful to characterize oil seep and oil-show drilling*. 2018, 10 p.
31. Dem'yanyuk K.V., Habueva D.A., Butakova E.S., Kachor O.L. Assessing environmental condition of the industrial site of the former Vostsibelelement plant. In: *Perspektivy razvitiya gorno-metallurgicheskoy otrasli (Igoshinskie chteniya): materialy ross. nauch.-prakt. konf. = Development prospects of the mining and metallurgical industry (Igoshinskie readings): proceedings of the Russian scientific and practical conference*. 26 November 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2022, p. 71-75. (In Russ.). EDN: JLZOBQ.
32. Dubinin M. NDVI – theory and practice. *GIS-Lab*. 2002. Available from: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> [Accessed 20th December 2023]. (In Russ.).
33. Rakov L.T., Prokofiev V.Yu., Zorina L.D. Impurity elements in quartz from gold deposits of the Darasun ore field (Eastern Transbaikalia, Russia): electron paramagnetic resonance data. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij*. 2019;61(2):72-92. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0016-777061272-92>. EDN: PXUDXP.
34. Mihailova O.S., Bulaeva N.M., Mushiina E.A. Heavy metal pollution monitoring of soil cover for Svirsk town. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2014;(4):34-40. (In Russ.). EDN: PXUDXP.
35. Ul'yanceva Yu.O. The use of space images for data biomass of Crimea. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov = Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*. 2015;1(4):61-66. (In Russ.). EDN: WWSQDX.
36. Stepanov S.Yu., Petrov Ya.A., Sidorenko A.Yu. Geospatial regional analysis of photosynthetically active biomass based on remote sensing data. *Informacionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo*. 2020;1:186-194. (In Russ.). EDN: OQRZFS.
37. Galchenko Yu.P., Kalabin G.V., Ozaryan Ju.A. Use of remote sensing data in geoinformation monitoring of natural-technical systems. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2020;1:68-78. (In Russ.). <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2020-1-1-68-78>. EDN: TPYLOC.
38. Kutyavina T.I., Rutman V.V., Ashikhmina T.Ya. Remote monitoring of overgrowth of the eutrophied reservoir water area by higher aquatic vegetation. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;3:36-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-036-040>. EDN: XBXWKK.

Информация об авторах / Information about the authors



Качор Ольга Леонидовна,
доктор технических наук,
руководитель департамента геоэкологии,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
✉ olgakachor@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-1889-9934>
Olga L. Kachor,
Dr. Sci. (Eng.),
Head of Geocology Department,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
✉ olgakachor@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-1889-9934>



Трусова Валентина Валерьевна,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник департамента геоэкологии,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
старший научный сотрудник лаборатории геохимии рудообразования
и геохимических методов поисков,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
vvtrusova@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-8168-9537>
Valentina V. Trusova,
Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher of the Geoecology Department,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
Senior Researcher of the Laboratory of Geochemistry of Ore Formation
and Geochemical Prospecting Methods,
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS,
Irkutsk, Russia,
vvtrusova@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-8168-9537>



Гантимурова Светлана Анатольевна,
младший научный сотрудник департамента геоинформатики,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
аспирант,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
lanagant@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0005-5978-7869>
Svetlana A. Gantimurova,
Junior Researcher of the Geoinformatics Department,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
Postgraduate Student,
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS,
Irkutsk, Russia,
lanagant@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0005-5978-7869>



Горячев Иван Николаевич,
научный сотрудник департамента рудной геологии,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
ivan.goryachev@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5250-9410>
Ivan N. Goryachev,
Researcher of the Ore Geology Department,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
ivan.goryachev@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5250-9410>



Икрамов Зиёвиддин Лутфиддин угли,
студент, старший лаборант-исследователь,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
ziyoviddin.ikramov1992@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-2708-0989>
Ziyoviddin L. Ikramov,
Student, Senior Research Assistant,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
ziyoviddin.ikramov1992@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-2708-0989>



Паршин Александр Вадимович,
кандидат геолого-минералогических наук,
научный руководитель института «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
научный сотрудник лаборатории геохимии рудообразования
и геохимических методов поисков,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
sarhin@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-3733-2140>
Alexander V. Parshin,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),
Scientific Director of the Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
Researcher of the Laboratory of Geochemistry of Ore Formation
and Geochemical Prospecting Methods,
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS,
Irkutsk, Russia,
sarhin@geo.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-3733-2140>

Вклад авторов / Contribution of the authors

О.Л. Качор – написание первоначального варианта текста, выполнение исследований и экспериментов, методология исследования, управление проектом.

В.В. Трусова – написание первоначального варианта текста, выполнение исследований и экспериментов.

С.А. Гантимурова – подготовка изображений, управление данными.

И.Н. Горячев – выполнение исследований и экспериментов, подготовка изображений, управление данными

З.Л. Икрамов – выполнение исследований и экспериментов, подготовка изображений.

А.В. Паршин – написание первоначального варианта текста, выполнение исследований и экспериментов, получение финансирования, методология исследования, управление проектом.

Olga L. Kachor wrote the initial version of the text of the article, performed the research and experiments, developed research methodology, provided project management.

Valentina V. Trusova wrote the initial version of the text of the article, performed the research and experiments.

Svetlana A. Gantimurova prepared images, performed data management.

Ivan N. Goryachev carried out research and experiments, prepared images, performed data management.

Ziyoviddin L. Ikramov carried out research and experiments, prepared images.

Alexander V. Parshin wrote the initial version of the text of the article, performed the research and experiments, obtained funding, developed research methodology, provided project management.



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 25.12.2023; одобрена после рецензирования 05.03.2024; принята к публикации 22.03.2024.

The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 05.03.2024; accepted for publication 22.03.2024.