

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223

**Оценка экологической опасности накопленных отходов
переработки минерального сырья закрытых горных предприятий
в Приамурье и Приморье**Л. Т. Крупская^{1,2}  , А. М. Орлов¹, Д. А. Голубев^{1,2}, К. А. Колобанов^{1,2}, М. А. Филатова^{1,2}¹Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Хабаровск, Россия, ecologiya2010@yandex.ru²Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

Аннотация: Объектом исследования явились сформированные в прошлом веке деятельностью ныне закрытых горных предприятий природно-горнопромышленные техногенные системы в Приамурье и Приморье Дальневосточного федерального округа Российской Федерации. Экспериментальные исследования позволили установить, что складированные в хвостохранилища сульфидизированные токсичные отходы переработки минерального сырья, накопленные в прошлом веке в большом количестве, негативно влияют на окружающую среду. Выявлено, что их консервация и рекультивация не были проведены. Однако они представляют огромную угрозу не только для окружающей среды, но и для здоровья населения. В связи с этим цель исследования состояла в оценке экологической опасности накопленных токсичных отходов и обосновании возможности снижения их отрицательного влияния на компоненты биосферы и здоровье человека. Исходя из цели исследования, определены следующие задачи: 1) анализ и обобщение существующего опыта изучения проблемы в России и за рубежом; 2) выявление основных источников создания кризисных ситуаций на закрытых горных предприятиях, показатели и критерии оценки экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья; 3) оценка экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья; 4) разработка принципов и мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности хвостохранилищ с токсичными отходами. Использованы следующие методы: физико-химические, биологические, а также математического моделирования, ГИС-технологий и др. В статье на основе изучения современного состояния хвостохранилищ, оценки уровня техногенного загрязнения объектов окружающей среды и патентного поиска обоснована необходимость эффективного решения названной проблемы. Установлено, что отходы относятся ко второму классу (высокоопасные). Выявлено превышение регионально фоновых показателей от 4 до 46 раз, а ПДК – более чем 200 раз. Доказано, что поверхность хвостохранилищ естественным путем не зарастает в течение 30 лет. Патентный поиск и собственные экспериментальные исследования позволили разработать мероприятия по обеспечению экологической безопасности сульфидизированных отходов переработки оловорудного сырья, новизна которых подтверждена патентами РФ.

Ключевые слова: токсичные сульфидизированные отходы переработки оловорудного сырья, хвостохранилища, потенциал биологических систем, закрытые горные предприятия, рекультивация, кризисные ситуации

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-35-90021 и Государственного задания № 075-03-2020-121/4

Для цитирования: Крупская Л. Т., Орлов А. М., Голубев Д. А., Колобанов К. А., Филатова М. А. Оценка экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья закрытых горных предприятий в Приамурье и Приморье. *Горные науки и технологии*. 2020;5(3):208-223. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223

Assessment of environmental hazard of accumulated mineral processing waste of closed mining enterprises in the Amur river region and Primorye

L. T. Krupskaya^{1,2}  , A. M. Orlov¹, D. A. Golubev^{1,2}, K. A. Kolobanov^{1,2}, M. A. Filatova^{1,2}

¹Far Eastern Scientific Research Institute of Forestry, Khabarovsk, Russia,  ecologiya2010@yandex.ru

²Pacific State University, Khabarovsk, Russia

Abstract: The subject of research was technogenic waste systems formed in the last century due to the activities of presently closed mining enterprises in the Amur River Region and Primorye of the Far Eastern Federal District of the Russian Federation. Experimental studies allowed to establish that toxic sulphidized mineral processing waste accumulated for the 20th century in tailings storage facilities (TSF) in large quantities produce negative impact on the environment. It was revealed that their conservation and reclamation were not carried out. However, they pose huge threat not only to the environment, but also to public health. In this regard, the research goal was to assess environmental hazard of the accumulated toxic waste and substantiate the possibility of mitigating their negative impact on biosphere components and human health. Based on the research goal, the following tasks were set: 1) analysis and generalization of the existing experience of studying the problem in Russia and abroad; 2) identification of the main sources of crisis situations at closed mining enterprises, indicators and criteria for assessing the environmental hazard of the accumulated mineral processing waste; 3) assessment of the environmental hazard of the accumulated mineral processing waste; 4) development of principles and measures aimed at ensuring environmental safety of TSF comprising toxic waste. The following methods were used: physical-chemical, biological, as well as mathematical modeling, GIS technologies, etc. Based on the study of the TSF current state, assessment of the level of technogenic environment pollution, and patent search, the authors substantiate the need for effective solution to this problem. It was found that the waste belongs to the second hazard class (highly hazardous). The excess of 4 to 46 times above the regional background indicators (metal concentrations), and more than 200 times above MPC was revealed. It has been proven that the TSF surface does not naturally run wild for 30 years. Patent search and our own experimental research allowed developing measures to ensure environmental safety of sulfidized tin ore processing waste, novelty of which was confirmed by patents of the Russian Federation.

Keywords: toxic sulphidized waste of tin ore processing, tailings storage facilities, potential of biological systems, closed mining enterprises, reclamation, crisis situations

Acknowledgments: The study was carried out with financial support of the Russian Foundation of Fundamental Research (RFFR) in the framework of scientific project No. 20-35-90021 and state assignment No. 075-03-2020-121/4

For citation: Krupskaya L. T., Orlov A. M., Golubev D. A., Kolobanov K. A., Filatova M. A. Assessment of environmental hazard of accumulated mineral processing waste of closed mining enterprises in the Amur river region and Primorye. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(3):208-223. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223

Введение

Происшедшие в прошлом веке в оловодобывающей промышленности события, а также социально-экономические процессы в России [1] не могли не отразиться на экологической безопасности горного производства в Дальневосточном федеральном округе (ДФО). В этой сфере сложились и устойчиво проявляются определенные негативные тенденции [2]. Накопленный ущерб в виде хвостохранилищ, содержащих большое количество токсичных загрязняющих веществ, полученных в результате прошлой деятельности ныне закрытых оловорудных предприятий, требует срочной организации работ по

оценке и поэтапной ликвидации его экологических последствий [3]. Данная задача является одним из условий достижения цели Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г. по улучшению качества окружающей среды и экологических условий жизни человека [4].

Анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта решения названных задач свидетельствует о том, что проблема устранения последствий накопленного ущерба в прошлом веке уже в течение последних двадцати с лишним лет стоит на повестке дня. Это связано с

массовым и зачастую неконтролируемым закрытием горнопромышленных предприятий и других опасных объектов как у нас в России, так и за границей. В статье, например, Гегиева К.А. с соавт. [5] рассматривается современное состояние Тырныаузского хвостохранилища закрытого Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (ТВМК, Кабардино-Балкария), вызывающее в настоящее время большие опасения. Здесь идет активное развитие эрозивно-оползневых процессов с формированием селевых потоков по руслу р. Гижгит.

Ивановой О.А. с соавт. [6] проанализировано состояние самой неблагоприятной части Байкальской природной территории, а именно Закаменского района республики Бурятия, где добывались вольфрамовые руды и в прошлом веке накоплены большие объемы отходов их переработки. Экологическая ситуация здесь тяжелая и даже критическая. Загрязнены все природные компоненты. Окисление сульфидных минералов рудного поля с образованием серной кислоты и выносом опасных для окружающей среды химических элементов с отвалов шахтными, карьерными и инфильтрационными водами привело к загрязнению ряда водотоков бассейна р. Джиды, являющихся наиболее загрязненными в бассейне озера Байкал. Авторы считают, что существенным пробелом является отсутствие в Российской Федерации такой документации, которая строго предписывала бы несение ответственности за прошлый экологический ущерб.

В статье Пашкевич М.А. и др. [7] изложены результаты исследования и оценки ландшафтно-геохимической обстановки в районе размещения хвостового хозяйства апатит-нефелиновой обогатительной фабрики (АНОФ-2, Апатиты). Выявлены нарушения в границах воздействия изучаемого производственного объекта. Сделан вывод о том, что в условиях сложившейся на рассматриваемой территории тяжелой экологической обстановки и при необходимости снижения техногенной нагрузки особую актуальность приобретает вопрос о возможности разработки сба-

лансированной стратегии управления экологической безопасностью функционирования хвостового хозяйства АНОФ-2.

Гурбановым А.Г. с соавт. [8, 9] на территории деятельности Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (ТВМК, Кабардино-Балкария) и Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия – Алания) проведен комплекс геохимических исследований, включающий всесторонний анализ современными аналитическими и приборными методами различных поверхностных вод, почв сельхозугодий и естественных пастбищ, захороненных промышленных отходов ТВМК, отвалов карьеров. В результате обобщения полученных данных с учетом геолого-геохимических и физико-географических особенностей этого района установлены основные источники загрязнения природной среды, представленные двумя группами – техногенной и природной. Исследователями доказано, что для снижения степени риска людских потерь, минимизации возможного материального ущерба от природных и техногенных катастроф, снижения негативной нагрузки на экологическую обстановку в регионе и на здоровье населения необходима полная утилизация промышленных отходов, накопленных в хвостохранилищах ТВМК, с обязательным предварительным извлечением из них экономически ценных металлов и элементов-токсикантов. В качестве первоочередных мер по снижению негативной нагрузки на окружающую среду в районе деятельности ТВМК и прилегающих территорий предложено создание комплексной технологии переработки техногенных отходов с постепенной их утилизацией, а также строительство водозаборов ручьев, в первую очередь дренирующих Мукуланский карьер, с серией очистных фильтров в виде ионообменных колонок различного типа.

По мнению Гурбанова А.Г. с соавт. [9], первоочередной задачей для Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК) является

временная изоляция вод, прежде всего сливаемых по трубе из хвостохранилища в р. Ардон, а также р. Архондон, являющихся основными поставщиками элементов-токсикантов в р. Ардон (с извлечением из них комплекса элементов, имеющих концентрацию выше ПДК для питьевой воды). Такая мера позволит значительно снизить поступление этих элементов в основную водную артерию и улучшить экологическую обстановку в районе деятельности ССЦК и на прилегающих территориях. Кроме того, в процессе извлечения комплекса элементов вполне реально попутное получение чистых оксидов ряда ценных металлов (Pb, Zn, Cd, Sb, Bi и т. д.), что существенно повысит экономическую привлекательность этого мероприятия.

Чигоевой Д.Н. и др. [10] изучено состояние р. Ардон ниже сброса с хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК). Выявлено, что длительная история разработки месторождений свинцово-цинковых руд Садонского горнорудного района привела к образованию обширных ореолов химического загрязнения поверхностных водотоков, что соответствует категории «экологическое бедствие». Обоснована необходимость организации их мониторинга в границах влияния хвостохранилища.

Качор О.Л. и др. [11] на основе геоэкологического и геохимического мониторинга выявлены масштабы загрязнения трех промзон горного производства, расположенных в Иркутской области и Забайкальском крае. Показана целесообразность использования золы шлам-лигнинов (отходов Байкальского ЦБК) для нейтрализации токсичных почвенных смесей. Выявлена возможность сорбции остаточных (после обработки реагентом) содержания подвижных форм мышьяка с использованием модифицированных угольных сорбентов для наиболее полного извлечения опасного токсиканта до показателей ПДК вредных веществ. Полученные результаты имеют большое практическое значение для реализации способа химической иммобилизации подвижных ионных

форм As в зоне техногенеза. Такие же выводы получены зарубежными учеными [12–14].

Статья А. Romero и др. [15] посвящена оценке риска рассеивания частиц и загрязнения микроэлементами от отвалов отходов шахты Riotinto (на юго-западе Испании). В этом исследовании разработана модель для разграничения зон риска, на которые влияет атмосферное рассеивание частиц из отвалов шахтных отходов, для оценки их воздействия на почву и население в соответствии с концентрацией соединений токсичных химических элементов в них [16].

Zhigang H. с соавт. [17] изучено распределение соединений тяжелых металлов и выполнена оценка загрязнения почв в границах влияния свинцово-цинкового рудника, расположенного во Внутренней Монголии (Китай). При этом использованы индекс Немерова и индекс потенциального экологического риска, позволившие выявить высокий уровень техногенного загрязнения.

Исследованиями Sung-Min Kim и др. [18] доказано, что наибольший риск опасности представляют закрытые шахты в Корее. О том, что шахтные хвосты интенсивно воздействуют на загрязнение почв в границах заброшенного рудника Моника (Bustarviejo) в Автономном районе Мадрида (Центральная Испания) и в юго-западной Нигерии, свидетельствуют исследования Rosario García-Giménez и др. [19] и Gbadebo A.M. и др. [20].

Большой интерес представляют исследования Мауга Реña-Ortega с соавт. [21], посвященные экологической оценке и расчету эрозии почв заброшенных шахтных хвостохранилищ полусухой зоны северо-западной Мексики. Изучение проблемы проведено с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сочетании с геохимическими данными для оценки эрозионных процессов и с учетом показателей загрязнения и опасности хвостохранилищ, содержащих соединения токсичных тяжелых металлов и мышьяка.

Цели и задачи

Цель исследований состояла в оценке экологической опасности накопленных токсичных

отходов и обосновании возможности снижения их отрицательного влияния на компоненты биосферы и здоровье человека. Исходя из цели исследования, определены следующие задачи: 1) анализ и обобщение существующего опыта изучения проблемы в России и за рубежом; 2) выявление основных источников создания кризисных ситуаций на закрытых горных предприятиях, показатели и критерии оценки экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья; 3) оценка экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья; 4) разработка принципов и мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности хвостохранилищ с токсичными отходами.

Район работ и методы исследования

Экспедиционные полевые исследования в границах влияния отходов закрытого горного предприятия проведены в течение 2010–2018 гг. Объектом исследования явились природно-горнопромышленные техногенные системы, сформированные в прошлом веке деятельностью ныне закрытых горных предприятий, расположенных в бассейне биосферного значения р. Амур (Солнечный ГОК (Хабаровский край), Хинганский ГОК (Еврейская автономная область), Хрустальненский ГОК (Приморский край)). К числу составных его частей относятся атмосферный воздух, воды, почвы, растительные и животные организмы, микроорганизмы и человек, а также отходы горного производства, объекты техники и технология.

При проведении исследований использованы общепринятые физико-химические, химические, биологические и математико-статистические методы.

Оценка потенциальных рисков загрязнения почв соединениями тяжелых металлов от хвостохранилища по однофакторному индексу загрязнения (PI) и индексу нагрузки загрязнения (HPI) выполнена с использованием уравнений (1) и (2) (согласно методикам, изложенным в статье Mari Luz García-Lorenzo и др. [22]):

$$PI = \frac{C_{soil}}{C_{background}}; \quad (1)$$

$$PLI = (PI_{Co} + PI_{Cu} + PI_{Zn} + PI_{As} + PI_{Mo} + PI_{Sn} + PI_{Hg} + PI_{Pb})^{1/n}, \quad (2)$$

где PI – единственный фактор, индекс загрязнения каждого металла: $PI < 1$ – не загрязнен; $1 \leq PI < 2$ – слегка загрязненный; $2 \leq PI < 3$ – умеренно загрязненный; $PI \geq 3$ сильно загрязнен; C_{soil} и $C_{background}$ – концентрации металла в пробе почвы и фона соответственно (mg/kg^{-1}). PLI – индекс нагрузки загрязнения, а n – количество оцененных загрязнителей (восемь в нашем исследовании: $PLI < 2$ – от умеренного до незагрязненного; $2 \leq PLI < 4$ – умеренно загрязненный; $4 \leq PLI < 6$ – сильно загрязненный; $PLI > 6$ – очень сильно загрязнен; PI – единичный фактор загрязнения каждого металла.

Кроме того, для оценки мобилизации потенциально токсичных элементов (ПТЭ) в воде также рассчитаны показатели PI и PLI . Естественная подвижность ПТЭ изучена методом водной экстракции, представляющей растворимую фракцию. Показатели естественной подвижности для соединений хрома (NMI_{Cr}), никеля (NMI_{Ni}), меди (NMI_{Cu}), цинка (NMI_{Zn}), стронция (NMI_{Sr}), олова (NMI_{Sn}), ртути (NMI_{Hg}) и свинца (NMI_{Pb}) рассчитаны как отношение между концентрациями ПТЭ и его фоновыми значениями:

$$NMI_n = \frac{C_{sample\ after\ water\ extraction}}{C_{background\ after\ water\ extraction}}. \quad (3)$$

Индекс естественной мобильности (NMI) определен как n -й корень произведения из n индикаторов естественной мобильности. В нашем случае

$$NMI = (NMI_{Cr} \cdot NMI_{Ni} \cdot NMI_{Cu} \cdot MI_{Zn} \cdot NMI_{Sr} \cdot NMI_{Sn} \cdot MI_{Hg} \cdot MI_{Pb})^{1/8} \quad (4)$$

Результаты исследования представлены в таблице, где значения индикатора ниже 2 баллов означают низкую мобильность; значения от

2 до 4 – умеренную подвижность; с 4 до 6 – значительную подвижность; выше 6 свидетельствуют об очень высокой мобильности.

Расчитан индекс геоаккумуляции в почвах (согласно статье Jiang F. и др. [23]), предложенный Мюллером [24], по формуле

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5 \cdot BE_n}, \quad (5)$$

где C_n – измеренная концентрация соединений тяжелых металлов в образце; BE_n – среднее геохимическое фоновое значение измеряемых элементов.

Результаты расчета индекса геоаккумуляции (I_{geo}) будут показаны в таблице с выделением уровней: от менее 0 до более 5, указывающие на степень загрязнения от практически незагрязненного до сильно загрязненного.

Результаты исследований были обработаны в программе MS Excel, рисунки – с помощью программы Photoshop, MS Office Picture Manager, Paint, MS Visio.

Результаты и обсуждение

Анализ рисков в исследуемом районе имеет важное значение как процесс определения отдельных источников опасности и прогнозирования их возможного негативного влияния на экосферу с целью ориентирования Дальневосточного федерального округа на устойчивое развитие.

Результаты наших исследований позволили выявить следующие основные факторы, обуславливающие кризисные явления, приводящие к экологическим рискам хранения накопленных отходов переработки минерального сырья в условиях закрытых горных предприятий Солнечный ГОК и Хрустальненский ГОК: 1) наличие токсичных отходов как источников интенсивного негативного воздействия на экосферу; 2) экологическая напряженность территории и особенности орографических и биоклиматических условий, а также экологическая емкость; 3) степень освоенности территории; 4) количество населения,

проживающего в границах влияния хвостохранилищ; 5) несовершенство природоохранного законодательства и отсутствие горно-экологического мониторинга изменения объектов окружающей среды в границах влияния токсичных отходов.

Изучение факторов позволило предложить следующую классификацию кризисных экологических ситуаций: 1) техногенно-экологические, связанные с накоплением экологического ущерба; 2) техногенного воздействия, способствующего интенсивному загрязнению экосферы; 3) социально-экологические, сопряженные с проживанием населения на техногенно загрязненной территории.

Воздействие перечисленных выше негативных факторов может привести в ближайшее время к дальнейшему обострению экологической обстановки в исследуемых Солнечном (Хабаровского края) и Кавалеровском оловорудных районах (Приморского края) в ДФО, если в ближайшие годы не будут приняты экстренные и эффективные меры по их преодолению. Любой из этих рисков может повлечь за собой следующие эколого-экономические проблемы первостепенной важности:

- 1) снижение качества среды обитания человека и биоты;
- 2) отсутствие ответственности:
 - за качество среды обитания;
 - охрану здоровья населения, проживающего в горняцком поселке;
 - соблюдение техники безопасности (например, требования компенсации);
- 3) затраты на ликвидацию техногенных загрязнений и его последствий;
- 4) несоответствие природоохранным нормам применявшихся в прошлом веке технологических решений;
- 5) некорректное решение экологических проблем и недовольство общественности;
- 6) несоответствие международным стандартам.

Ниже рассмотрены экологические риски на закрытых горных предприятиях ДФО.

1. Техногенно-экологические риски, связанные с накопленным экологический ущербом.

Среди экологических причин выделены следующие: во-первых, размещение объектов, экологически не совместимых с природным комплексом, во-вторых, ошибочная оценка или недооценка экологических последствий преобразования природных ландшафтов в процессе освоения в прошлом веке полезных ископаемых.

Интенсивное освоение минерального сырья в Дальневосточном федеральном округе России привело к накоплению большого количества токсичных сульфидизированных отходов переработки полезных ископаемых, оказывающих мощное негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Они были в прошлом веке складированы в хвостохранилища, которые в настоящее время остались бесконтрольными и рассматриваются нами как экологический ущерб. К их числу относятся: Солнечный ГОК (Солнечный район, Хабаровский край), Хрустальный ГОК (Кавалеровский район, Приморский край), Хинганский ГОК (Облученский район, Еврейская автономная область), Карамкенский ГОК (Хасынский район, Магаданская область) и др.

Оловосульфидные месторождения здесь разрабатывались открытым и закрытым способами. Горнорудная промышленность в Солнечном районе функционировала с 1957 по 2005 г. В районе имелось две фабрики и три хвостохранилища, занимающие площадь 80,8 га, с объемом отходов обогащения 41,5 млн т. Их вещественный состав представлен (%): жильным кварцем – 37,5, роговиково-осадочными породами – 45, турмалином – 12,1, и сульфидами (галенит и сфалерит, пирит, пирротин, арсенопирит, халькопирит) – 3,8. Они характеризуются содержанием следующих полезных компонентов (г/т): Sn – 0,46, As – 0,629, Ag – 1,227, Pb – 0,123, Zn – 0,094, Bi – 0,03.

В Кавалеровском районе с 1941 по 2001 г. существовали шесть рудников и четыре обогатительные фабрики. В районе находится пять

хвостохранилищ общей площадью 17,7 га, где накоплено 37,72 млн т хвостов обогащения. В их составе пирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит, халькопирит, кварц, флюорит, турмалин, хлорит и другие минералы. Количественный и полуколичественный спектральный анализы образцов показали, что содержание рудных элементов в них изменяется в следующих пределах (%): Sn – 0,04–0,10; Cu – 0,0062–0,2600; Pb – 0,0039–0,0760; Zn – 0,08–1,00; As – 0,01–0,05; N – 0,0014–0,0033; Co – 0,0002–0,0009; V – 0,0043–0,0100; Ag – 0,0003–0,0030; Ga – 0,0011–0,0016; B – 0,01–0,05; Bi – 0,0001–0,0003; Sr – до 0,01; Ca – до 0,1 [25].

Установлено, что в аварийном состоянии оказались исследуемые хвостохранилища, здесь уровень безопасности – опасный. Выявлены нарушения положений федеральных законов «О безопасности ГТС», «Об охране атмосферного воздуха», «Об отходах производства и потребления», «Об охране окружающей среды», а также требования Правил безопасности ГТС накопителей жидких и промышленных отходов, нормативных и инструктивных документов Госгортехнадзора России, Водного и Земельного кодексов Российской Федерации. Так, не разработаны мероприятия по обеспечению промышленной безопасности, охране недр и окружающей среды и безопасности гидротехнического сооружения (ГТС) на срок приостановки работ на опасных производственных объектах. На закрытых горных предприятиях не выполнялись предписания надзорных органов по устранению нарушений требований технологической и экологической безопасности. Ограждающая дамба хвостохранилищ разрушена, их ремонт не проводится. Пульповоды, водоводы оборотной воды и оборудование станции оборотной воды демонтированы, происходят самопроизвольный сток и смыв загрязняющих веществ в речную сеть. Отсутствует мониторинг безопасности хвостохранилища в соответствии с нормативными требованиями. Происходит интенсивное пылевое загрязнение среды обитания, потому что не

выполняются меры по снижению пыления поверхности хвостохранилища и загрязнения атмосферного воздуха путем рекультивации поверхности хвостохранилища. При специфических местных метеорологических условиях поверхность хвостохранилищ за прошедшие годы подверглись ветровой и водной эрозии и становятся интенсивными источниками пылевого загрязнения экосистем, так как в них содержатся частицы менее 2 мм с высоким содержанием токсичных компонентов. Здесь в прудковой и промежуточной зонах, например, закрытого горного предприятия Солнечный ГОК, выявлена густая сеть эрозионных рытин и промоин глубиной свыше 1 м и шириной от 0,3 до 1,2 м, переходящих в овраги. Это результат развития экстремальных природных процессов в последние годы, а именно: интенсивное обильное выпадение атмосферных осадков в осенний период 2008 г. и в течение июня – июля 2009 г., обусловленное муссонным характером климата в исследуемом регионе. Не менее важным фактором оказалось наличие уклона поверхности хвостохранилища более 3° от пляжной зоны к прудковой. Кроме того, подвержены эрозионным процессам также откосы дамбы.

2. Риски техногенного воздействия, способствующего интенсивному загрязнению экосферы.

Условиями возникновения экологического риска от техногенного загрязнения, например, атмосферного воздуха является наличие источника риска, в том числе характеризующегося вредной для населения и биоты концентрацией загрязняющего вещества [26]. Кроме того, важное значение имеет пребывание их в зоне влияния и наличие путей передачи вредного воздействия от источника к живому организму. Главным фактором при этом является выделение приоритетных объектов источников риска возникновения кризисных ситуаций, обуславливающих интенсивное техногенное загрязнение окружающей среды. На основе собранной информации о негативном влиянии на экосистемы отходов

переработки минерального сырья, складированных в хвостохранилища, закрытых горных предприятий Солнечный ГОК и Хрустальненский ГОК сделан вывод о том, что к числу основных источников создания кризисных ситуаций относятся:

1) хвостохранилища, обогатительные фабрики и отстойники, брошенные на произвол судьбы в результате банкротства горных предприятий;

2) физический износ и ненадежность основного используемого в прошлом веке технологического оборудования и природоохранных объектов, а также сушильных установок и аспирационных систем обогатительных фабрик, вентиляционных систем и плавильных цехов;

3) низкий уровень экологизации процессов, например при выпуске шахтных вод и жидких отходов, отходов обогащения и отходов околорудных пород, когда в водные объекты сбрасывались недостаточно очищенные стоки;

4) применение устаревших технологий и технологических процессов;

5) со стороны руководителей и служб охраны природы функционировавших в прошлом веке горных предприятий выявлено ослабление внимания к охране окружающей среды, снижению объемов и эффективности природоохранных работ;

6) несовершенство природоохранного законодательства и действующей системы платежей за загрязнение окружающей природной среды;

7) большой вопрос – невостребованность имеющихся научно-технических разработок, отсутствие стимулов внедрения и применения их в горном производстве.

Таким образом, вышесказанное свидетельствует о том, что горнопромышленная деятельность потенциально опасна [27, 28] и всегда существует вероятность возникновения рисков, в том числе негативного техногенного воздействия, приводящего к интенсивному за-

грязнению объектов окружающей среды отходами хвостохранилищ и увеличению заболеваемости населения. Так, мелкодисперсная токсичная пыль, поднимаясь с поверхности в воздух, образует вихревые потоки, а затем осаждаются на почвы. К тому же установлено, что атмосферные осадки, растворяя в себе большое количество токсических веществ, образуют техногенные потоки [29, 30], являющиеся негативным фактором для почвенно-растительного покрова.

Проблема осложняется тем, что в результате все большего осаждения твердых отходов на почву ее свойства и состав ухудшаются все более быстрыми темпами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах и водах в десятки раз превышает фоновые показатели и ПДК. Техногенные почвы, расположенные вблизи хвостохранилищ, характеризуются чрезвычайно высокими концентрациями ТМ и Ас (от 31 до 300 мг/кг), превышающими, например, ПДК от 1,5 до 15 и более раз.

Высшая растительность в границах влияния исследуемых хвостохранилищ аккумулирует значительные количества загрязняющих веществ (Zn, Cu, Pb и др.). Выявлено техногенное загрязнение соединениями тяжелых металлов и мышьяка в почвах и растительности даже на большом расстоянии от места складирования техногенных образований (отходов хвостохранилищ), превышающие регионально фоновые показатели от 2 до 6 раз и выше.

В таблицах 1 и 2 приведены расчеты уровня загрязнения соединениями тяжелых металлов почв по однофакторному индексу загрязнения (PI) и индекса нагрузки загрязнения (PLI), рассчитанных по методике [22], в границах влияния отходов закрытых Солнечного ГОКа и Хрустальненского ГОКа.

Рассчитанный в почвах индекс геоаккумуляции по Мюллеру [24] представлен на рис. 1. Этот показатель отражает значительную его величину для таких токсичных соединений, как мышьяк, медь, сурьма и свинец в границах влияния хвостохранилищ исследуемых закрытых горных предприятий.

Таблица 1

Расчет уровня загрязнения по однофакторному индексу загрязнения и индекса нагрузки загрязнения почв в границах влияния отходов закрытого горного предприятия Солнечный ГОК

Наименование объекта	Однофакторный индекс загрязнения (PI)								Индекс нагрузки загрязнения (PLI)
	Co	Cu	Zn	As	Mo	Sn	Hg	Pb	
Хвостохранилище Солнечного ГОКа	13,5	187,1	16,2	59,0	11,8	12 631,9	343,9	330,1	119,2
1 км от хвостохранилища	2,2	10,0	5,6	7,9	5,1	2008,9	231,4	45,8	22,6
2 км от хвостохранилища	2,3	28,6	8,2	5,3	4,0	2135,0	116,8	43,9	21,8
3 км от хвостохранилища	1,4	15,8	7,6	2,0	3,2	1216,3	30,9	74,3	14,8

Таблица 2

Расчет уровня загрязнения по однофакторному индексу загрязнения и индекса нагрузки загрязнения в границах влияния отходов закрытого горного предприятия Хрустальненский ГОК

Наименование объекта	Однофакторный индекс загрязнения (PI)								Индекс нагрузки загрязнения (PLI)
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Pb	
Хвостохранилище Хрустальненского ГОКа	2,5	1,9	2,7	45,7	6,0	159	56,4	10,4	11,6
1 км от хвостохранилища	2,0	1,9	2,4	44,5	5,3	133,8	42,8	10,0	10,3
2 км от хвостохранилища	1,7	1,4	2,1	16,8	2,8	15,9	8,4	5,9	4,3
3 км от хвостохранилища	1,2	0,6	1,7	5,9	1,2	5,0	3,3	2,8	2,1

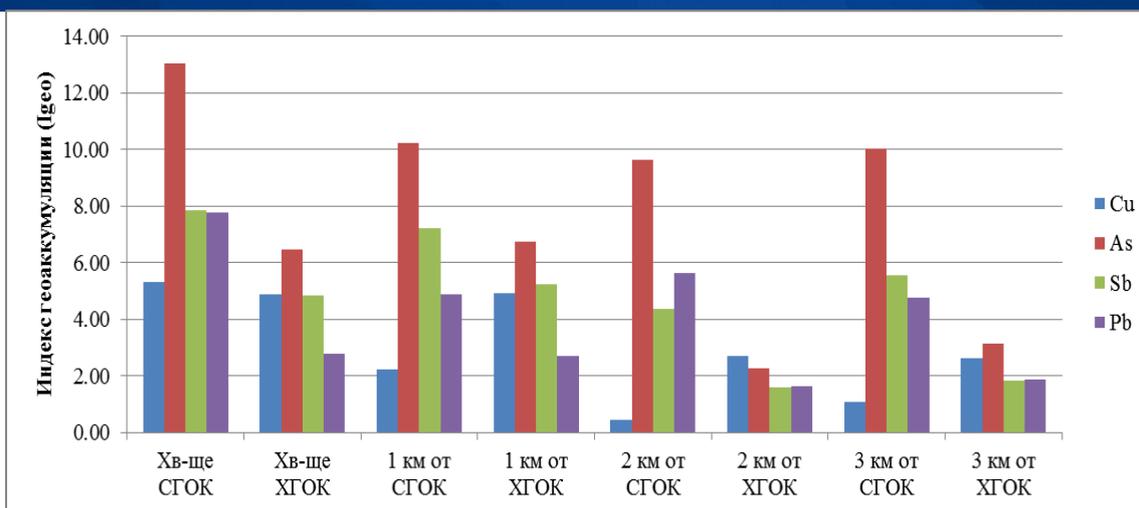


Рис. 1. Расчет индекса геоаккумуляции в почвах в границах влияния отходов закрытых горных предприятий Хрустальненский ГОК (ХГОК) и Солнечный ГОК (СГОК)

Таблица 3

Расчет индекса естественной мобильности

Наименование объекта	Показатель естественной мобильности (NMI _n)								Индекс естественной мобильности (NMI)
	Cr	Ni	Cu	Zn	Sr	Sn	Hg	Pb	
3-е хвостохранилище Хрустальненского ГОКа	500,3	463,2	217,4	42,7	3,4	0,1	0,1	1,0	8,7
Хвостохранилище Солнечного ЦОФ	5,4	13,3	631,2	12,9	1,3	248,6	1,0	67 389,6	43,3
п. Горный, 3-е хвостохранилище, шламовые воды	2,5	7,8	488,3	8,1	1,0	1,0	1,0	53 657,5	16,0

По индексу нагрузки загрязнения (*PLI*) к очень сильно загрязненным можно отнести почвы исследуемой территории вблизи хвостохранилищ Солнечного ГОКа и Хрустальненского ГОКа (1–3 км). Самые высокие показатели у соединений мышьяка, особенно вблизи Солнечного ГОКа.

В табл. 3 представлены результаты расчета индекса естественной мобильности (*NMI*).

Согласно расчетам (табл. 3) оценка подвижности соединений тяжелых металлов в водных источниках вблизи хвостохранилищ очень высокая, особенно возле хвостохранилища Солнечного ГОКа, где протекает р. Холдоми, впадающая в р. Силинку, несущую свои воды в р. Амур биосферного значения.

3. Социально-экологические риски, сопряженные с проживанием населения на техногенно загрязненной территории.

Принятый в 1997 г. Закон Российской Федерации «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [31] (в редакции от 29.07.2018) предусматривает, что предприятие, являющееся источником повышенной опасности, обязано обеспечить меры по защите населения и окружающей среды от опасных воздействий. В связи с этим возникает необходимость оценки социально-экологических рисков, предполагающих не только их выявление, прогнозирование наступления неблагоприятных последствий, определение причиненного вреда здоровью населения, компонентам окружающей среды, но и устранение. Кроме того, предусматривается также получение количественных и качественных показателей кризисных ситуаций, а также предупреждение аварий.

Оценка социально-экологических рисков включает следующие этапы:

1) выявление аварийных ситуаций, связанных с техногенным загрязнением окружающей

среды, и определение экологического ущерба здоровью человека;

2) оценка стоимости работ по полному устранению экологически значимых последствий, вызванных кризисной ситуацией.

Исследования, проведенные нами [32–34], свидетельствуют о том, что население горняцких поселков проживает в условиях постоянного превышения нормативных показателей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в границах влияния отходов переработки минерального сырья, складированных в хвостохранилищах. Результатом действия на него является ответная реакция в виде появления физиологических сдвигов и развития эколого-обусловленных заболеваний. Особого внимания требует детское население, поскольку дети наиболее уязвимы и чувствительны к действию химических агентов вообще [35].

Полученные данные об экологическом состоянии окружающей среды на основе рассчитанных коэффициентов опасности (HQ) и индекса опасности (HI) для загрязняющих веществ (диоксид серы и соединения тяжелых металлов) показывают рост числа заболеваемости с увеличением уровня техногенного загрязнения экосферы. Выявлена связь между уровнем загрязнения канцерогенными веществами среды обитания и возникновением злокачественных новообразований (ЗНО). Коэффициент опасности (HQ), рассчитанный по формуле [35] для групп веществ, действующих на нервную систему (Pb, Mn и Co), соответственно равен 80,7; 3,6 и 3,9, что свидетельствует о высоком уровне загрязнения среды обитания. Расчет индекса опасности (HI) для веществ, негативно влияющих на органы дыхания (взвешенные частицы, диоксид серы, а также соединения меди, хрома) показывает, что в районе исследования его значение достигает значительной величины ($HI = 71,88$). Второе место по риску воздействия занимают соединения свинца, марганца и кобальта, индекс опасности которых составляет 5,94. Установлена тесная корреляционная связь между пока-

зателем содержания канцерогенных соединений, например Sb, и заболеванием органов дыхания, а также возникновением новообразований [32–34].

Сложившаяся при освоении рудных месторождений в ДФО ситуация предопределяет необходимость разработки принципов обеспечения экологической безопасности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки оловорудного сырья. Проведенные исследования позволили предложить следующие принципы нормального функционирования техногенных объектов в границах влияния закрытых горных предприятий Солнечный ГОК и Хрустальненский ГОК.

1. Рациональная безопасность как необходимость максимально возможного экономически оправданного снижения вероятности возникновения чрезвычайных экологических ситуаций и масштабов их последствий в условиях закрытых горных предприятий.

2. Сохранение важнейшего элемента качества жизни – благоприятной окружающей среды для биоты и здоровья населения горняцкого поселка в условиях закрытых горных предприятий.

3. Учет различных естественных опасностей и техногенного воздействия на экосферу хвостохранилищ (принцип сбалансированного риска).

4. Анализ соотношений «затраты – риск», «выгода – риск», «затраты – выгода» (принцип приемлемого риска). В международной практике этот принцип известен как принцип ALARA (As Low Reasonable Achievable) – т.е. настолько низко, насколько это достижимо в разумных пределах.

На основе данных принципов предложены следующие мероприятия по обеспечению экологической безопасности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки оловорудного сырья, в границах их влияния в условиях закрытых горных предприятий Солнечный ГОК и Хрустальненский ГОК.

1. Создание экономического механизма снижения риска возникновения экологического ущерба от чрезвычайных ситуаций.

2. Создание новой технологии рекультивации поверхности хвостохранилищ с использованием инновационного подхода (биоремедиации), новизна которых подтверждена патентами РФ (2018 и др.) [36], и ее реализация для снижения негативного воздействия на среду обитания.

3. Разработка системы горно-экологического мониторинга состояния компонентов окружающей среды в границах влияния хвостохранилищ закрытых горных предприятий.

4. Создание лесозащитной полосы вокруг хвостохранилища и максимальное озеленение территории горняцких поселков с целью предотвращения техногенного загрязнения экосферы.

5. Проведение медико-экологического обследования населения для его оздоровления в связи с формированием здесь экологически обусловленных заболеваний.

Заключение

1. Установлена высокая экологическая токсичность отходов закрытых горных предприятий Солнечный ГОК и Хрустальненский

ГОК, которая, несомненно, способствует интенсивному загрязнению объектов окружающей среды и повышению заболеваемости населения горняцких поселков в ДФО.

2. Выявлены индикаторы и факторы, ставшие причиной кризисных явлений, приводящих к экологическим рискам хранения накопленных отходов переработки минерального сырья в результате прошлой деятельности закрытых горных предприятий.

3. Дана оценка уровня загрязнения соединениями тяжелых металлов почв по однофакторному индексу загрязнения (PI) и индексу нагрузки загрязнения (PLI), а также индексу естественной мобильности и геоаккумуляции.

4. Разработаны принципы и мероприятия по обеспечению экологической безопасности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки оловорудного сырья. Созданы новые технологии рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья, новизна которых подтверждена патентами РФ.

Библиографический список

1. Свинобоева О. Н., Ноговицын Р. Р. Перспективы возрождения оловянной промышленности в Республике Саха (Якутия). *Проблемы современной экономики*. 2017;3(63):183-186.
2. Куликова Е. Ю., Сергеева Ю. А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020;6(1):107-118.
3. Пинаев В. Е., Чернышев Д. А. *Ликвидация накопленного экологического ущерба – организационные и правовые аспекты*: Монография. М.: Мир науки; 2017. 136 с.
4. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р (ред. от 28.09.2018) «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (вместе с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года»). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82134/
5. Гегиев К. А., Шерхов А. Х., Гергокова З. Ж., Анахаев К. К. Экологические проблемы Тырныаузского хвостохранилища на реке Гижигит. *Вестник МГСУ*. 2018;13(11):1386–1394. DOI: [10.22227/1997-0935.2018.11.1386-1394](https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1386-1394)
6. Иванова О. А., Куклина Т. С. Экологические последствия добычи вольфрамовых руд (на примере закаменского района Республики Бурятия). *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН*. 2016;3(56):95-101.
7. Пашкевич М. А., Стриженов А. В. Оценка антропогенной нагрузки в районе расположения хранилища отходов обогащения апатит-нефелиновых руд. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2012;(2):35-41.
8. Gurbanov A. G., Bogatkov O. A., Gazeev V. M., Leksin A. B., et al. Geochemical evaluation of environmental conditions in the area of activity of the tyrnauz tungsten–molybdenum plant (Kabardino-Balkaria, North Caucasus): sources of environment contamination, impact upon neighboring areas, and ways for recovery. *Doklady Earth Sciences*. 2015;464(1):967-971.

9. Vinokurov S. F., Gurbanov A. G., Bogatkov O. A., Gazeev V. M., et al. Contents, seasonal variations, and forms of migration of major and minor elements in surface waters in the area of the Tyznyauz Tungsten–Molybdenum combine (ТТМС) and adjacent areas (Kabardino-Balkarian republic, Russian Federation) and actions for recovery of the ecological environment. *Doklady Earth Sciences*. 2016.;467(2):346-349.
10. Чигоева Д. Н., Каманина И. З., Каплина С. П. Содержание тяжелых металлов в водотоках в районе Унальского хвостохранилища и реки Ардон. *Юг России: экология, развитие*. 2018;13(2):113-122. DOI: [10.18470/1992-1098-2018-2-113-122](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-113-122)
11. Качор О. Л., Сарапулова Г. И., Богданов А. В. Поиск способа обезвреживания техногенных отходов горного производства, загрязненных мышьяком. Новейшие исследования в современной науке: опыт, традиции, инновации. Сб. науч. ст. по материалам IX Международной научной конференции. 2019. С. 14-17.
12. Salas-Luévano M. A., Mauricio-Castillo J. A., González-Rivera M. L., et al. Accumulation and phytostabilization of As, Pb and Cd in plants growing inside mine tailings reforested in Zacatecas, Mexico. *Environ Earth Sci*, 2017;76:806. DOI: [10.1007/s12665-017-7139-y](https://doi.org/10.1007/s12665-017-7139-y)
13. Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., et al. Distribution of potentially toxic elements (PTEs) in tailings, soils, and plants around Gol-E-Gohar iron mine, a case study in Iran. *Environ Sci Pollut Res*. 2017;24:18798-18816. DOI: [10.1007/s11356-017-9342-5](https://doi.org/10.1007/s11356-017-9342-5)
14. Azharia Abdellah El, Rhoujjatia Ali, El Hachimi Moulay Laârabi, Ambrosi Jean-paul. Pollution and ecological risk assessment of heavy metals in the soil-plant system and the sediment-water column around a former Pb/Zn-mining area in NE Morocco. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;144:464-474. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2017.06.051](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.051)
15. Romero Antonio, González Isabel, Martín José María, Vázquez María Auxiliadora, Ortiz Pilar. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps. *Environmental Geochemistry and Health*. 2015;37:273-286. DOI: [10.1007/s10653-014-9645-0](https://doi.org/10.1007/s10653-014-9645-0)
16. May I. V., Kleyn S. V., Vekovshinina S. A. Assessment of impact of accumulated environmental damage to the quality of soil, surface and groundwater, agricultural products resulted from the mining enterprise. In: *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. International scientific conference «Agritech-2019: agribusiness, environmental engineering and biotechnologies»*. Krasnoyarsk; 2019. P. 062024.
17. Zhigang Hu, Chensheng Wang, Keqing Li & Xinyou Zhu. Distribution characteristics and pollution assessment of soil heavy metals over a typical nonferrous metal mine area in Chifeng, Inner Mongolia, China. *Environmental Earth Sciences* 2018;77:638.
18. Sung-Min Kim, Jangwon Suh, Sungchan Oh, Jin Son, Chang-Uk Hyun, Hyeong-Dong Park, Seung-Han Shin, Yoon Choi. Assessing and prioritizing environmental hazards associated with abandoned mines in Gangwon-do, South Korea: the Total Mine Hazards Index. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(5):369.
19. Rosario García-Giménez & Raimundo Jiménez-Ballesta. Mine tailings influencing soil contamination by potentially toxic elements. *Environmental Earth Sciences*. 2017;76:51. DOI: [10.1007/s12665-016-6376-9](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6376-9)
20. Gbadebo A. M. & Ekwue Y. A. Heavy metal contamination in tailings and rocksamples from an abandoned goldmine in southwestern Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014;186:165-174.
21. Peña-Ortega Mayra, Del Rio-Salas Rafael, Valencia-Sauceda Javier, Mendivil-Quijada Héctor, Minjarez-Osorio Christian, Molina-Freaner Francisco, de la O-Villanueva Margarita & Moreno-Rodríguez Verónica. Environmental assessment and historic erosion calculation of abandoned mine tailings from a semi-arid zone of northwestern Mexico: insights from geochemistry and unmanned aerial vehicles. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:26203-26215.
22. García-Lorenzo Mari Luz, Crespo-Feo Elena, Esbrí Jose María, Higuera Pablo, Grau Patricia, Crespo Isabel, Sánchez-Donoso Ramón. Assessment of Potentially Toxic Elements in Technosols by Tailings Derived from Pb–Zn–Ag Mining Activities at San Quintín (Ciudad Real, Spain): Some Insights into the Importance of Integral Studies to Evaluate Metal Contamination Pollution Hazards. *Minerals*. 2019;9(6):346. DOI: [10.3390/min9060346](https://doi.org/10.3390/min9060346)
23. Jiang, F., Ren, B., Hursthouse, A. et al. Distribution, source identification, and ecological-health risks of potentially toxic elements (PTEs) in soil of thallium mine area (southwestern Guizhou, China). *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26:16556-16567.
24. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *GeoJournal*. 1969;2:108-118.
25. Зверева В. П. Техногенные воды оловорудных месторождений Дальнего Востока. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2007;(1):51-56.
26. Мамаев Ю. А., Крупская Л. Т., Грехнев Н. И. и др. Обеспечение экологической безопасности источников риска возникновения кризисных ситуаций от горных предприятий в Приамурье. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2008:252-259.
27. Беляев А. М. Оценка эколого-геохимической опасности месторождений полезных ископаемых. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Наука о Земле*. 2011;3:43-48.

28. García-Giménez R., Jiménez-Ballesta R. Mine tailings influencing soil contamination by potentially toxic elements. *Environ Earth Sci.* 2017;76:51.
29. Цыдыпов В. В., Жамсуева Г. С., Заяханов А. С. и др. Влияние техногенных песков хвостохранилищ Джидинского вольфрам-молибденового комбината на содержание мелкодисперсной и субмикронной фракции аэрозоля в атмосфере города Закаменска. *Успехи современного естествознания.* 2019;4:81-86.
30. Dragana Randelović, Jelena Mutić, Prvoslav Marjanović, Tamara Đorđević, Milica Kašanin-Grubin. Geochemical distribution of selected elements in flotation tailings and soils/sediments from the dam spill at the abandoned antimony mine Stolice, Serbia. *Environmental Science and Pollution Research.* 2020;27:6253-6268.
31. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 29.07.2018) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
32. Растинина Н. К., Крупская Л.Т. О роли экологических факторов в изучении здоровья населения горняцких поселков на юге Дальнего Востока. *Экология и промышленность России.* 2008;12:56-57.
33. Зверева В. П. Оценка воздействия техногенных вод Кавалеровского и Дальнегорского горнорудных районов на гидросферу Приморского края. *Экологическая химия.* 2019;28(4):199-210.
34. Растинина Н.К., Кузнецова А.А. Элементный статус биологического материала детей, проживающих в границах влияния закрытых оловорудных предприятий ДФО. В сборнике: *философия современного природопользования в бассейне реки Амур. Материалы VIII международной научно-практической конференции.* Ответственный редактор П.Б. Рябухин. 2019:116-118.
35. Куролап С. А., Мамчик Н. П., Клепиков О. В. *Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды.* Воронеж: Воронежский гос. ун-т; 2006.
36. Крупская Л. Т., Ищенко Е. А., Голубев Д. А. и др. Патент РФ № 2707030 от 21.11.2019. *Состав для снижения пылевой нагрузки на экосферу и рекультивации поверхности хвостохранилища.* Заявка № 2019114495 от 13.05.2019

References

1. Svinoboeva O.N., Nogovitsyn R.R. Prospects for revival of tin industry in the Republic of Sakha (Yakutia). *Problemy sovremennoy ekonomiki [Problems of modern economics].* 2017;3(63):183-186. (In Russ.)
2. Kulikova E. Yu., Sergeeva Yu. A. Conceptual model for minimizing the risk of water pollution in the Kemerovo region. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2020;6(1):107-118. (In Russ.)
3. Pinaev V.E., Chernyshev D.A. *Elimination of accumulated environmental damage – organizational and legal aspects.* Monograph, Moscow: Mir Nauki Publ.; 2017. 136 p. (In Russ.)
4. Order of the Government of the Russian Federation of November 17, 2008 No. 1662-р (as amended on September 28, 2018) "On the Concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020" (together with the "Concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020"). Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82134/ (In Russ.)
5. Gegiev K. A., Sherkhov A. Kh., Gergokov Z. Zh., Anakhaev K. K. Ecological problems of Tyrnauz tailings storage facility near the Gizhgut River. *Vestnik MGSU [Bulletin of MSBU].* 2018;13(11):1386-1394. DOI: [10.22227/1997-0935.2018.11.1386-1394](https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1386-1394) (In Russ.)
6. Ivanova O. A., Kuklina T. S. Environmental consequences of mining tungsten ores (as exemplified by Zakamensk district of the Republic of Buryatia). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektii nauk o Zemle RAEN [Bulletin of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences].* 2016;3(56):95-101. (In Russ.)
7. Pashkevich M.A., Strizhenok A.V. Assessment of the anthropogenic load in the vicinity of the apatite-nepheline ore processing tailings storage facility. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [Bulletin of Tula State University. Earth Sciences].* 2012;(2):35-41. (In Russ.)
8. Gurbanov A. G., Bogatkov O. A., Gazeev V. M., Leksin A. B., et al. Geochemical evaluation of environmental conditions in the area of activity of the tyrnauz tungsten–molybdenum plant (Kabardino-Balkaria, North Caucasus): sources of environment contamination, impact upon neighboring areas, and ways for recovery. *Doklady Earth Sciences.* 2015;464(1):967-971.
9. Vinokurov S. F., Gurbanov A. G., Bogatkov O. A., Gazeev V. M., et al. Contents, seasonal variations, and forms of migration of major and minor elements in surface waters in the area of the Tyrnauz Tungsten–Molybdenum combine (TTMC) and adjacent areas (Kabardino-Balkarian republic, Russian Federation) and actions for recovery of the ecological environment. *Doklady Earth Sciences.* 2016.;467(2):346-349.
10. Chigoeva D. N., Kamanin I. Z., Kaplina S. P. Contents of heavy metals in watercourses in the area of Unalsky TSF and Ardon river. *South of Russia: ecology, development.* 2018;13(2):113-122. DOI: [10.18470/1992-1098-2018-2-113-122](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-113-122) (In Russ.)

11. Kachor O. L., Sarapulova G. I., Bogdanov A. V. Selection of method for detoxication of man-made mining waste, polluted with arsenic. Latest research in modern science: experience, traditions, innovations. In: *Proceedings of the IX International Scientific Conference*. 2019. P. 14-17. (In Russ.)
12. Salas-Luévano M. A., Mauricio-Castillo J. A., González-Rivera M. L., et al. Accumulation and phytostabilization of As, Pb and Cd in plants growing inside mine tailings reforested in Zacatecas, Mexico. *Environ Earth Sci*, 2017;76:806. DOI: [10.1007/s12665-017-7139-y](https://doi.org/10.1007/s12665-017-7139-y)
13. Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., et al. Distribution of potentially toxic elements (PTEs) in tailings, soils, and plants around Gol-E-Gohar iron mine, a case study in Iran. *Environ Sci Pollut Res*. 2017;24:18798-18816. DOI: [10.1007/s11356-017-9342-5](https://doi.org/10.1007/s11356-017-9342-5)
14. Azharia Abdellah El, Rhoujjatia Ali, El Hachimi Moulay Laârabi, Ambrosi Jean-paul. Pollution and ecological risk assessment of heavy metals in the soil-plant system and the sediment-water column around a former Pb/Zn-mining area in NE Morocco. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;144:464-474. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2017.06.051](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.051)
15. Romero Antonio, González Isabel, Martín José María, Vázquez María Auxiliadora, Ortiz Pilar. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps. *Environmental Geochemistry and Health*. 2015;37:273-286. DOI: [10.1007/s10653-014-9645-0](https://doi.org/10.1007/s10653-014-9645-0)
16. May I. V., Kleyn S. V., Vekovshinina S. A. Assessment of impact of accumulated environmental damage to the quality of soil, surface and groundwater, agricultural products resulted from the mining enterprise. In: *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. International scientific conference «Agritech-2019: agribusiness, environmental engineering and biotechnologies»*. Krasnoyarsk; 2019. P. 062024.
17. Zhigang Hu, Chensheng Wang, Keqing Li & Xinyou Zhu. Distribution characteristics and pollution assessment of soil heavy metals over a typical nonferrous metal mine area in Chifeng, Inner Mongolia, China. *Environmental Earth Sciences* 2018;77:638.
18. Sung-Min Kim, Jangwon Suh, Sungchan Oh, Jin Son, Chang-Uk Hyun, Hyeong-Dong Park, Seung-Han Shin, Yosoon Choi. Assessing and prioritizing environmental hazards associated with abandoned mines in Gangwon-do, South Korea: the Total Mine Hazards Index. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(5):369.
19. Rosario García-Giménez & Raimundo Jiménez-Ballesta. Mine tailings influencing soil contamination by potentially toxic elements. *Environmental Earth Sciences*. 2017;76:51. DOI: [10.1007/s12665-016-6376-9](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6376-9)
20. Gbadebo A. M. & Ekwue Y. A. Heavy metal contamination in tailings and rocksamples from an abandoned goldmine in southwestern Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014;186:165-174.
21. Peña-Ortega Mayra, Del Rio-Salas Rafael, Valencia-Sauceda Javier, Mendivil-Quijada Héctor, Minjarez-Osorio Christian, Molina-Freaner Francisco, de la O-Villanueva Margarita & Moreno-Rodríguez Verónica. Environmental assessment and historic erosion calculation of abandoned mine tailings from a semi-arid zone of northwestern Mexico: insights from geochemistry and unmanned aerial vehicles. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:26203-26215.
22. García-Lorenzo Mari Luz, Crespo-Feo Elena, Esbrí Jose María, Higuera Pablo, Grau Patricia, Crespo Isabel, Sánchez-Donoso Ramón. Assessment of Potentially Toxic Elements in Technosols by Tailings Derived from Pb-Zn-Ag Mining Activities at San Quintín (Ciudad Real, Spain): Some Insights into the Importance of Integral Studies to Evaluate Metal Contamination Pollution Hazards. *Minerals*. 2019;9(6):346. DOI: [10.3390/min9060346](https://doi.org/10.3390/min9060346)
23. Jiang, F., Ren, B., Hursthouse, A. et al. Distribution, source identification, and ecological-health risks of potentially toxic elements (PTEs) in soil of thallium mine area (southwestern Guizhou, China). *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26:16556-16567.
24. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *GeoJournal*. 1969;2:108-118.
25. Zvereva V. P. Technogenic waters of tin ore deposits in the Far East. *Environmental geology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2007;(1):51-56. (In Russ.)
26. Mamaev Yu. A., Krupskaya L. T., Grekhnev N.I., Morin V.A., Krupsky A.V. Ensuring environmental safety of potential sources of emergency at mining enterprises in the Amur River Region. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)] 2008:252-259. (In Russ.)
27. Belyaev A.M. Assessment of ecological-and-geochemical hazard of mineral deposits. *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2011;3:43-48. (In Russ.)
28. García-Giménez R., Jiménez-Ballesta R. Mine tailings influencing soil contamination by potentially toxic elements. *Environ Earth Sci*. 2017;76:51.
29. Tsydypov V.V., Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., et al. Impact of technogenic sands of the Dzhida tungsten-molybdenum combine TSF on the content of fine and submicron aerosol fractions in the air in Zakamensk city. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]*. 2019;4:81-86.

30. Dragana Randelović, Jelena Mutić, Prvoslav Marjanović, Tamara Đorđević, Milica Kašanin-Grubin. Geochemical distribution of selected elements in flotation tailings and soils/sediments from the dam spill at the abandoned antimony mine Stolice, Serbia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27:6253-6268.
31. Federal Law No. 116-FZ dated July 21, 1997 (as amended on July 29, 2018) "On Industrial Safety of Hazardous Industrial Facilities". (In Russ.)
32. Rastanina N. K., Krupskaya L. T. On the role of environmental factors in the health of the population of miners' settlements in the south of the Far East. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*. 2008;12:56-57. (In Russ.)
33. Zvereva V. P. Assessment of the impact of technogenic waters of the Kavalerovsky and Dalnegorsky mining regions on the hydrosphere of the Primorsky Territory. *Ekologicheskaya khimiya [Environmental chemistry]*. 2019;28(4):199-210. (In Russ.)
34. Rastanina N. K., Kuznetsova A. A. Elemental status of biological material of children living within the influence of closed tin ore enterprises of the Far Eastern Federal District. In the collection: *philosophy of modern nature management in the Amur river basin. Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Executive editor P. B. Ryabukhin. 2019:116-118. (In Russ.)
35. Kurolap S. A., Mamchik N. P., Klepikov O. V. *Assessment of the risk to public health in case of technogenic pollution of urban environment*. Voronezh: Voronezh State University Publ.; 2006. (In Russ.)
36. Krupskaya L.T., Ishchenko D.A., Golubev D.A., et al. *Composition for reducing dust load on ecosphere and reclamation of TSF surface*. Patent RF No. 2707030 dated 21.11.2019. (In Russ.)