DOI: 10.58168/TSMSTTO2026_148-154
УДК 331.45

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Симонов Б.А., *магистрант*
Головина Е.И., *канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности*
Воронежский государственный технический университет

Аннотация. Статья посвящена всестороннему анализу экологических рисков, связанных с деятельностью горнодобывающего предприятия с целью оценки основных источников загрязнения окружающей среды техногенными элементами. В ходе анализа выявлены ключевые экологические риски, связанные преимущественно с загрязнением тяжёлыми металлами атмосферы, водных ресурсов и деградацией земель. Хвостохранилища являются основным источником долгосрочного негативного воздействия на окружающую среду. Результаты исследования демонстрируют необходимость внедрения экологосберегающих технологий для снижения негативного воздействия горнодобывающей деятельности предприятия.

Ключевые слова: экологический риск, анализ риска, экологически опасные зоны, техногенные элементы, хвостохранилища, загрязнение атмосферы, оценка загрязнения поверхностных и подземных вод, загрязнение поверхностных грунтов и почв, экологосберегающие технологии.

ECOLOGICAL RISKS AT THE “ERDENET MINING CORPORATION” MONGOLIA

Simonov B.A., *Master's Student*
Golovina E.I., *Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Technosphere and Fire Safety*
Voronezh State Technical University

Abstract. The article is devoted to a comprehensive analysis of the environmental risks associated with the activities of a mining enterprise to assess the main sources of environmental pollution by man-made elements. The analysis identified key environmental risks associated primarily with heavy metal pollution of the atmosphere, water resources, and land degradation. Tailings dumps are the main source of long-term negative impact on the environment. The results of the study demonstrate the need to introduce environmentally friendly technologies to reduce the negative impact of the mining activities of the enterprise.

© Симонов Б. А., Головина Е. И., 2026

Keywords: ecological risk, risk analysis, environmentally hazardous areas, man-made elements, tailings ponds, atmospheric pollution, assessment of pollution of surface and groundwater, pollution of surface soils and soils, environmentally friendly technologies.

В условиях глобального климатического кризиса горнодобывающая отрасль сталкивается с беспрецедентными вызовами экологической безопасности. Международные стандарты устойчивого развития, закреплённые в Agenda 2030 ООН, требуют пересмотра традиционных моделей ресурсодобычи. Предприятия горнодобывающей отрасли играют системообразующую роль в экономике, но одновременно представляют значительные экологические риски. Современные требования к устойчивому развитию диктуют необходимость баланса между промышленными нуждами и сохранением природного капитала, что особенно актуально для стран с экономикой ресурсно-ориентированной.

С основной целью хранения пустых и экономически невыгодных пород, использованных реагентов, после проведения технологических процессов обогащения и переработки руд , использования и резервирования оборотных вод организован участок хвостохранилища обогатительной фабрики.

Согласно исследованию специалистов [2] в хвостохранилище происходит скопление достаточно большого объема твердых отходов в виде мелких частиц. Когда мякоть высыхает, на поверхности образуется рыхлый порошкообразный слой серовато-белого цвета, который называется белая пыль. Этот слой содержит высокие концентрации искусственных элементов: местами содержание меди превышает 6000 мг/кг (60 г/кг), молибден присутствует в количествах до 450 мг/кг, мышьяк — до 1000 мг/кг. Образующаяся белая пыль легко разносится ветром, что приводит к ее активному переносу на большие расстояния от свалок и значительному загрязнению воздуха.

В результате анализа экологических рисков добычи и переработки меди и молибдена на месторождении выявлены потенциально экологически опасные зоны: производственная зона, зона хвостохранилища, селитебная зона, зона природных ландшафтов.

Рассчитаем риск распространения техногенных элементов, используя данные табл. 1 и формулу 1 [3].

$$R = \frac{1}{\sum S} \quad (1)$$

Таблица 1

Зоны экологического риска в регионе месторождения

Зона экологического риска	Площадь S, км^2	Риск, R
Производственная зона	46,5	0,02
Зона хвостохранилища	24	0,04
Селитебная зона	56	0,02
Зона природных ландшафтов	110	0,01

Таким образом, наиболее подвержена риску загрязнения техногенными элементами при добыче и переработке меди и молибдена зона хвостохранилища (Рис. 1).

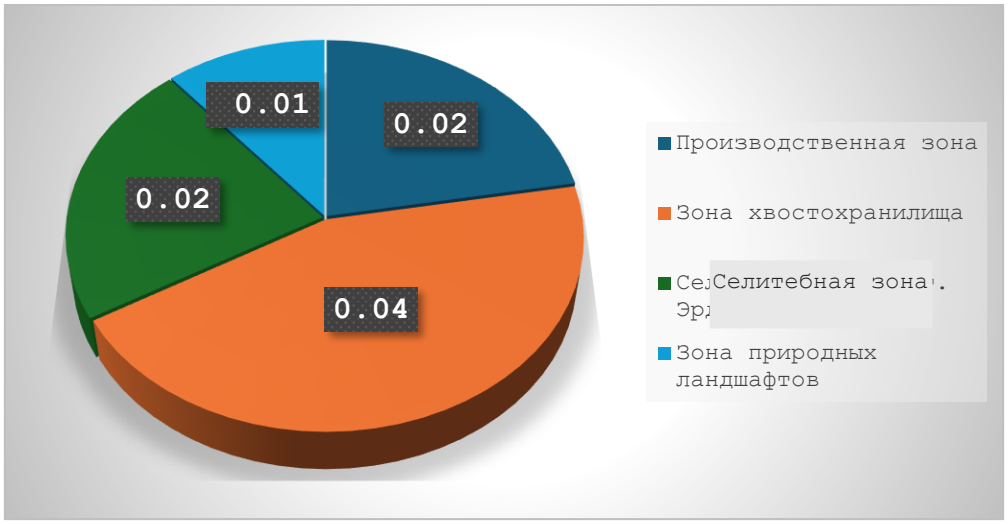


Рис.1. Риск распространения техногенных элементов в регионе месторождения

Проведенное исследование позволило выявить основные экологические риски в районе размещения горно-обогатительного комбината: риск загрязнения атмосферы; загрязнение поверхностных и подземных вод, загрязнение поверхностных грунтов и почв.

Наиболее вероятен риск загрязнения атмосферы вблизи производственной площадки предприятия, который определяется погодными условиями, особенностями геологической структуры участка добычи, характеристиками карьерных работ, расположением отходов и прочих антропогенно созданных объектов по отношению к преобладающим ветрам.

Согласно многолетним метеорологическим наблюдениям, на территории месторождения средняя скорость ветра составляет 5,2 м/с, а максимальная - 20 м/с. [4]. Весной в регионе сухой климат, в этой связи пыль, образующаяся на хвостах, легко переносится ветром и разносится на большие расстояния. Согласно гранулометрическому анализу, основная масса частиц - около 70% имеют диаметр менее 80 микрометров и до 30% их объема не превышает 10 микрометров. Перемещение этих мелких фракций происходит в основном при порывах ветра, скорость которого превышает 5 м/с.

Загрязнение воздуха селитебной зоны в основном обусловлено подъемом пыли с поверхности хвостохранилища обогатительной фабрики. На рис. 2 представлены концентрации элементов по отношению к ПДК в воздухе над хвостохранилищем. Наблюдается превышение ПДК свинца, меди.

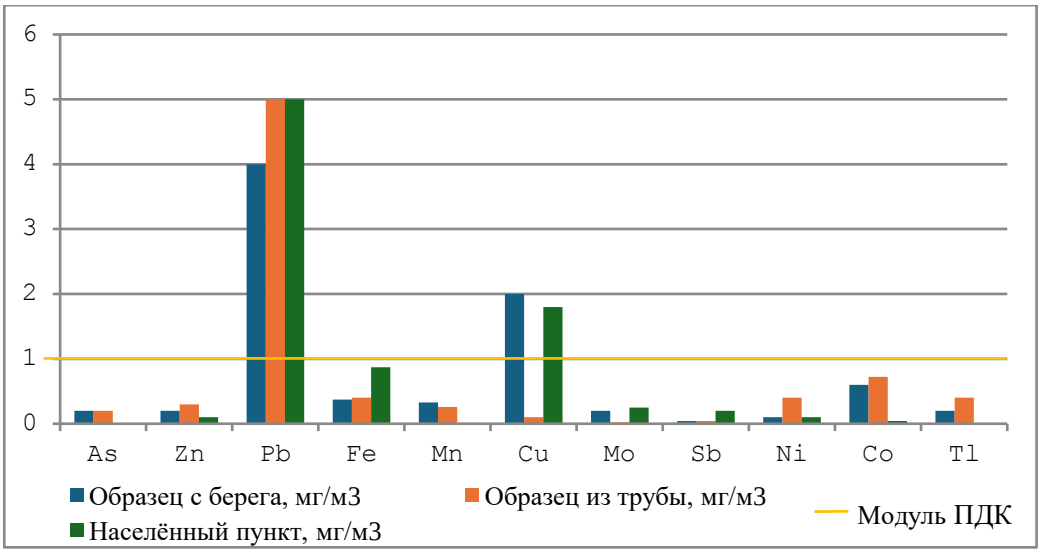


Рис. 2. Концентрации химических элементов в атмосфере над территорией хвостохранилища [7]

Сточные воды, образующиеся в процессе производственной деятельности комбината, представляют собой еще один значимый источник загрязнения. Их химический состав может быть весьма разнообразным, включая тяжелые металлы, сульфаты, нитраты и другие соединения, которые являются результатом технологических процессов.

Оценка загрязнения поверхностных водотоков в районе предприятия выявила систематические превышения ПДК по меди (в 10 раз) и молибдену (в 9 раз) см. рис.3 [6]. Химический состав воды демонстрирует выраженную техногенную трансформацию. Основными источниками загрязнения поверхностных вод выступают фильтрационные потоки из хвостохранилищ и ливневые стоки с промышленных площадок. Установлена прямая корреляция между объемами сбросов предприятия и степенью деградации водных экосистем.

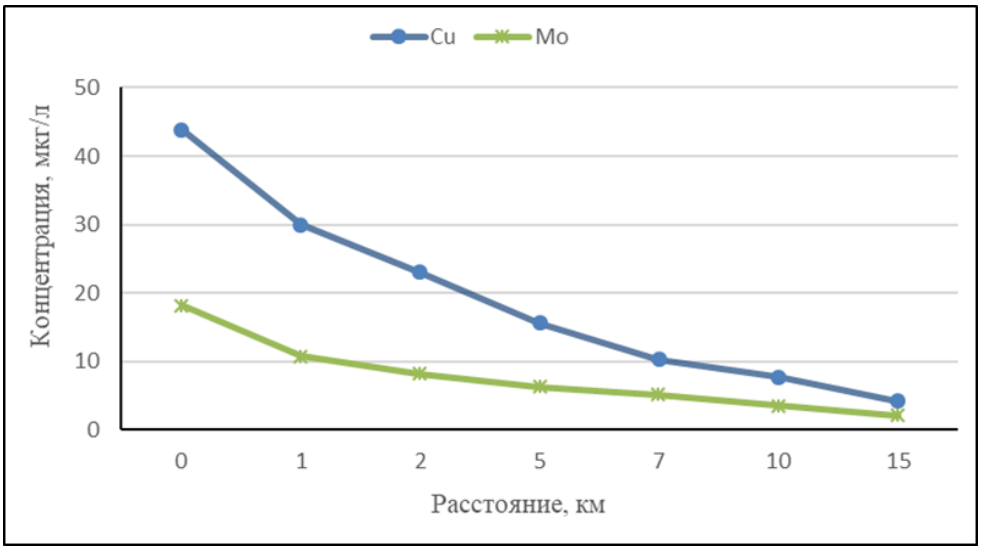


Рис. 3. Оценка загрязнения поверхностных водотоков [6]

Анализ проб грунтовых вод, взятых из скважин возле хвостохранилища, показал высокое содержание искусственных элементов. Основным фактором загрязнения в этой зоне является выщелачивание жидкости из накопившейся влажной пыли из остаточных отходов. По той же причине наблюдается значительное увеличение концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах под плотиной, а также в скважинах, расположенных на путях распределения сточных вод, поступающих с этого объекта.

Важно отметить, на этапе эксплуатации месторождения основные риски, связанные с воздействием на геологическую среду и рельеф, проявляются в неблагоприятных экзогенных процессах при отработке карьеров и формировании отвалов и хвостохранилища.

Данные лабораторных анализов [6] показывают, что максимальные уровни загрязнения верхних слоев почвы наблюдаются вблизи производственных объектов. Места отбора проб были расположены непосредственно вблизи основного источника загрязнения - горных работ. Результаты исследований выявили широкий диапазон концентраций молибдена и меди: минимальные значения составляли 50,0 мг/кг, а максимальные - 4410,0 мг/кг. В среднем они достигали 1257,5 мг/кг, что намного превышает порог опасности, установленный монгольским стандартом. Это в несколько раз превышает предельно допустимые уровни. Кроме того, в некоторых пробах, взятых в промышленной зоне, содержание мышьяка превышало допустимые предельные значения, и средняя концентрация этого элемента также была выше установленной нормативами.

Жилые районы подвержены воздействию воздушных масс, которые уносят с собой аэрозольные загрязнители, образующиеся на промышленных объектах, а также белую пыль, которая появляется в зонах осушения хвостохранилища. В результате среднее содержание молибдена в пробах, взятых в городской местности, как правило, превышает предельно допустимые нормы.

Исследование показало, что предприятие горной добычи воздействует на эколого-геохимическое состояние всех компонентов окружающей среды в зоне своего влияния, причем характер этого воздействия различается по масштабу, интенсивности и экологическим последствиям.

В почве природных ландшафтов превышение ПДК по меди (Cu), молибдену (Mo), мышьяку (As) и цинку (Zn) было зафиксировано в некоторых точках, которые находятся в пределах 5 километров от промышленных объектов и хвостохранилища. Большинство этих точек расположены в направлении основных ветров, идущих от производственной территории и хвостохранилища.

Проведенная оценка показывает, что предприятия горнодобывающей отрасли уделяют значительное внимание развитию экологической безопасности и сохранению окружающей среды. Вместе с тем, выявленные риски подчёркивают о необходимости применения и развития экологосберегающих технологий, таких как:

1. *внедрение замкнутых систем водооборота* на горнодобывающих предприятиях обеспечит многократное использование технологической воды и снизит объёмы сбросов в водные объекты.

2. *этапная рекультивация нарушенных земель* с использованием адаптированных к местным условиям фитотехнологий. Восстановление растительного покрова на отработанных участках будет способствовать естественной детоксикации почв и предотвращению эрозии.

3. *разработка специализированных нормативов* для мониторинга состояния хвостохранилищ и оперативного реагирования на аварийные ситуации.

Реализация предложенных мер позволит не только снизить экологические риски на предприятиях, но и стать моделью устойчивого развития для горнодобывающей отрасли.

Список литературы

1. Хурэлху Д., Наранцэцэг Ц. Предприятие Эрдэнэт. //Хронология.– Уланбатор: NEPKO, 2017. – С. 254.

2. Орлова Н.А. Жаргалсайхан Б. Мониторинг дамбы хвостохранилища «Эрдэнэт» (Монголия) // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. М.: МГСУ, 2021. С. 169-171.

3. Фрумин Г. Т. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие. – СПб: СпецЛит, 2016. – С.135.

4. Бадарч Н. Климат Монголии. – Уланбатор, 1998.-С. 79.

5. Гарьдхуу Ж., Ануу М., Шийтэ Д. Научные основы охраны бассейна рек Орхон-Селенга // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Мат.VII международной научно-прак. конф.: Изд-во «Иркутский гос. аграрный университет им.А.А.Ежевского», 2018. - С.3-9.

6. Жаргалсайхан Б., Орлова Н.А., Суздалева А.Л. Геоэкологическая ситуация в регионе горно-обогатительного комбината «Эрдэнэт» (Монголия)//XXII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Москва, 21-23 апреля 2022г.). М.:РУДН, 2022.

References

1. Khurelkhuu, D., & Narantsetseg, Ts. (2017). Erdenet Mining Corporation: Chronology. Ulaanbaatar: NEPKO. P.254.

2. Orlova, N. A., & Jargalsaikhan, B. (2021). Monitoring of the "Erdenet" Tailings Dam (Mongolia). Geoecological Problems of the Technogenic Stage of Earth's History: Proceedings of the All-Russian National Scientific and Practical Conference. Moscow: MGSU, Pp. 169-171.

3. Frumin, G. T. (2016). Technogenic Systems and Ecological Risk: Textbook. Saint Petersburg: SpetsLit. P.135.

4. Badarch, N. (1998). Climate of Mongolia. Ulaanbaatar. P.79.

5. Gairdkhuu, Zh., Anuu, M., & Shiite, D. (2018). Scientific Foundations of Protecting the Orkhon-Selenge River Basin. Climate, Ecology, Agriculture of Eurasia. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University, Pp. 3-9.

6. Jargalsaikhan, B., Orlova, N. A., & Suzdaleva, A. L. (2022). Geoecological Situation in the Region of the "Erdenet" Mining and Processing Plant (Mongolia). XXII International Scientific and Practical Conference "Current Problems of Ecology and Nature Management" (Moscow, April 21-23, 2022). Moscow: RUDN, 2022.