

Арктика и Север. 2024. № 55. С. 40–53.

Научная статья

УДК [622:502](985)

DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.55.40>

Управление горнопромышленными отходами арктических промышленных предприятий: охрана окружающей среды и экономика производства

Иванов Станислав Викторович^{1✉}, научный сотрудник

Цукерман Вячеслав Александрович², кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

^{1,2} Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина — обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра КНЦ РАН, ул. Ферсмана, 24а, Апатиты, Россия

¹ etostas@mail.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9141-3211>

² tsukerman@me.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0844-1180>

Аннотация. Проблемы управления горнопромышленными отходами на промышленных предприятиях и повышения экономики производства являются одними из наиболее актуальных, в особенности для арктических экосистем, характеризующихся повышенной чувствительностью к воздействию внешних факторов и сложностью восстановления. Исследования проведены на примере крупных промышленных корпораций, непосредственно функционирующих в Арктике, в том числе: ПАО «ФосАгро», ПАО «ГМК «Норильский никель»», дивизион «Северсталь ресурс» ПАО «Северсталь» и ПАО «НОВАТЭК». Выполнен анализ основных показателей, связанных с управлением отходами за 2018–2022 гг. Выявлена тенденция увеличения объёмов горнопромышленных отходов в Арктике, при этом уровень их утилизации практически не изменился. Рассмотрено направление активизации научных исследований в области рационального использования горнопромышленных отходов и разработки инновационных технологий с учётом повышения воздействия на арктические экосистемы. Предложено для каждого промышленного предприятия создавать научно-производственные центры с применением опыта сбалансированной модели «тройной спирали». Рекомендовано активно участвовать в Межведомственном научном совете РАН по развитию минерально-сырьевой базы и её рационального использования, утвержденном в 2023 г. для разработки научных основ добычи и переработки полезных ископаемых и ускорения импортозамещения.

Ключевые слова: промышленные предприятия, Арктика, экологические показатели, управление отходами, инновационные технологии, экономика

Mining Waste Management of the Arctic Industrial Enterprises: Environmental Protection and Economics of Production

Stanislav V. Ivanov^{1✉}, Researcher

Vyacheslav A. Tsukerman², Cand. Sci. (Tech.), Leading Researcher

^{1,2} Luzin Institute for Economic Studies — Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, ul. Fersmana, 24a, Apatity, Russia

¹ etostas@mail.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9141-3211>

² tsukerman@me.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0844-1180>

* © Иванов С.В., Цукерман В.А., 2024

Для цитирования: Иванов С.В., Цукерман В.А. Управление горнопромышленными отходами арктических промышленных предприятий: охрана окружающей среды и экономика производства // Арктика и Север. 2024. № 55. С. 40–53. DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.55.40>

For citation: Ivanov S.V., Tsukerman V.A. Mining Waste Management of the Arctic Industrial Enterprises: Environmental Protection and Economics of Production. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2024, no. 55, pp. 40–53. DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.55.40>



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Abstract. The problems of mining waste management at industrial enterprises and increasing the economy of production are among the most urgent ones, especially for the Arctic ecosystems, characterized by high sensitivity to external factors and the complexity of recovery. The research was conducted on the example of large industrial corporations directly operating in the Arctic, including PJSC PhosAgro, PJSC MMC Norilsk Nickel, Severstal Resource division of PJSC Severstal and PJSC NOVATEK. The key indicators related to waste management for 2018–2022 were analyzed. The trend of increasing volumes of mining waste in the Arctic was revealed, while the level of its utilization remained practically unchanged. It is proposed to intensify scientific research in the field of rational use of mining waste and to develop technologies for their processing, taking into account the impact on the Arctic ecosystems. It is suggested to create research and production centers for each industrial enterprise using the experience of the balanced “triple helix” model. It is recommended to actively participate in the Interdepartmental Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the development of the mineral resource base and its rational use, created in 2023, to develop the scientific foundations for the extraction and processing of minerals and accelerate import substitution.

Keywords: *industrial enterprises, Arctic, ecological indicators, waste management, innovation technologies, economy*

Введение

Освоение минеральных ресурсов Арктической зоны Российской Федерации (далее — Арктики) горными предприятиями сопровождается образованием отходов, которые оказывают отрицательное воздействие на природную среду. Для экосистем Арктики проблема отходов является особо важной, поскольку природная среда в этом регионе исключительно чувствительна к внешним воздействиям и характеризуется медленным восстановлением, поэтому последствия могут быть необратимыми [1, Смиреникова Е.В., Уханова А.В., Воронина Л.В., с. 73; 2, Tsukerman V.A., Ivanov S.V.]. В этой связи особенно актуальны вопросы об уменьшении образования горнопромышленных отходов на производственных предприятиях и повышении эффективности их использования. Управление горнопромышленными отходами предприятий предусматривает сбор, транспортировку, переработку, вторичное использование или их утилизацию.

Основные решения и правовые основы государственной политики, направленные на снижение отходов промышленными предприятиями сформулированы в законах №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», а также указах Президента РФ № 164 «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и других законодательных документах Правительства Российской Федерации^{1, 2, 3, 4}. Горным предприятиям необходимо

¹ Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303> (дата обращения: 19.06.2023).

² Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102053807> (дата обращения: 19.06.2023).

³ Указ Президента РФ от 05.03.2020 N 164 (ред. от 21.02.2023) «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года». URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/f8ZpjhpAaQ0WB1zjywN04OgKil1mAvaM.pdf> (дата обращения: 19.06.2023).

соблюдать российское и международное законодательство, связанное с промышленными отходами, разрабатывать и реализовывать инновационные технологии и принимать необходимые меры для обеспечения экологической безопасности.

Отходы делятся на пять классов опасности по степени их влияния на природную среду⁵. Горнопромышленные отходы оцениваются как практически неопасные (5 класс опасности), однако они являются источником постоянного и существенного загрязнения территорий, в том числе и после завершения эксплуатации месторождений [3, Невская М.А., Селезнев С.Г., Маслобоев В.А. и др., с. 13]. Уже на ранней стадии хранения таких отходов начинается ухудшение технологических качеств и изменение свойств минеральных масс в отвалах вследствие гипергенеза. Эти отходы представляют серьёзную угрозу для атмосферы, почвы и вод вследствие пыления и миграции поллютантов, что приобрело в горнопромышленных регионах устойчивый характер [4, Derome J., Lindroos A.J.; 5, Csavina J., Field J., Taylor M.P. и др.; 6, Zhang X., Yang L., Li Y. и др.; 7, Liang J., Feng Ch., Zeng G., и др.; 8, Cheng Z., Jiang J., Fajardo O.A. и др.]. Длительное размещение приводит к масштабным и безвозвратным загрязнениям окружающих территорий.

Складируемые горнопромышленные отходы используются в ограниченном объёме и размещаются в отвалах и хвостохранилищах, поддержание которых требует серьёзных экономических затрат [9, Суворова О.В., Манакова Н.К., с. 1; 10, Tsukerman V. A., Kozlov A. A.; 11, Маслов А.Д., Мельников Н.Н., Калашник А.И. и др.; 12, Калашник А.И., Гилярова А.А., Калашник Н.А. и др.]. Следует особо отметить, что отходы не являются потерями и могут эффективно использоваться для получения товарной продукции, которая может широко применяться в народном хозяйстве. Истощение сырьевой базы, снижение качества сырья, вовлечение в переработку более труднообогатимых руд и недостаточная эффективность существующих технологий обогащения повышают интерес к поиску нетрадиционных и альтернативных источников сырья, что вынуждает рассматривать горнопромышленные отходы как техногенные месторождения, имеющие большой экономический потенциал, особенно в случае извлечения в основном ограниченных минеральных компонентов [13, Иванова В.А., Митрофанова Г.В., с. 135; 14, Горячев А.А., Макаров Д.В., Светлов А.В., с. 116]. Повышение рационального использования таких техногенных месторождений путём их вовлечения в хозяйственный оборот, например, для получения строительных материалов, рентабельно, поскольку горнопромышленные отходы расположены на поверхности земли, как правило, в непосредственной близости от обогатительных фабрик предприятий, а стоимость их переработки невысока [15, Чуркин О.Е., Гилярова А.А. с. 908; 16, Abaka-Wood G.B., Ehrig K., Addai-Mensah J. и др.].

⁴ Указ Президента РФ от 07.05.2018 N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf> (дата обращения: 19.06.2023).

⁵ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201512310003?index=1> (дата обращения: 19.06.2023).

др.]. Это позволяет укрепить минерально-сырьевую базу, обеспечив дополнительными источниками минерального сырья, повысить эффективность её эксплуатации и снизить ресурсоёмкость продукции, а также снизить отрицательное воздействие на уникальную арктическую природную среду [17, Громов Е.В., Опалев А.С., Иванова В.А., Хохуля М.С.; 18, Tsukerman V.A., Ivanov S.V.]. Однако горнопромышленные предприятия действуют в течение долгого периода времени, а их высокий уровень энергетической ёмкости и потребления ресурсов серьёзно препятствует техническому переоснащению и реконструкции [19, Lèbre É., Corder G.D., Golev A.].

Материалы и методы

Основными задачами исследования предусматривается эффективное обращение с производственными отходами, создание необходимых условий и инфраструктуры для переработки отходов, повышение доли утилизации отходов, создание системы экологического регулирования, разработка и реализация инновационных технологий с целью охраны окружающей среды и повышения экономических показателей.

Целью работы является исследование возможности снижения воздействия на окружающую среду арктических горнопромышленных предприятий за счёт уменьшения отходов производства и научно обоснованного их применения с целью повышения экономических показателей и стимулирования экологически ориентированного управления этими предприятиями.

Исследование проводилось на примере крупных промышленных корпораций, которые непосредственно функционируют в Арктике и предоставили данные в открытом доступе, а именно: ПАО «ФосАгро», ПАО «ГМК «Норильский никель»», дивизион «Северсталь ресурс» ПАО «Северсталь» и ПАО «НОВАТЭК».

Методической основой исследования является системный подход и теория стратегического управления, которые предусматривают исследования методов анализа различных экологических и экономических систем и разработки стратегических направлений их развития. Методика оценки предусматривает рассмотрение проблем охраны окружающей среды и экономического развития с учётом международных рекомендаций арктических стран. Для достижения поставленной цели использованы различные методы анализа, информационной основой которых являются годовые отчёты предприятий, ежегодные статистические данные Росстата, отчёты региональных подразделений Минприроды, соответствующие законодательные требования и научные публикации. Были рассмотрены способы конкретного обращения с отходами вскрышных пород и обогащения и их утилизация на каждом из представленных арктических промышленных предприятий. Рассмотрены основные показатели в сфере управления отходами, в том числе: объём образования отходов, их утилизация и обезвреживание, которые отражают дальнейшее направление их использования для произ-

водства продукции и применение для различных целей, включая обработку, сжигание и обезвреживание.

На основе официальных показателей Федеральной службы государственной статистики выполнено сравнение Российской Федерации и Арктики по объёму образования, утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления за период 2018–2021 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Образование, утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления в Российской Федерации и Арктике, млн т⁶

	2018	2019	2020	2021
Образование отходов в РФ	7 226	7 751	6 956	8 449
Образование отходов в Арктике	351,6	410,4	437,3	462,1
Утилизация и обезвреживание отходов в РФ	3 818	3 882	3 429	3 937
Утилизация и обезвреживание отходов в Арктике	321,8	244,2	167,4	314,3

Можно отметить, что в Арктике, как и в Российской Федерации, за рассмотренный период наблюдается определённая тенденция увеличения образования отходов производства и потребления. Доля утилизируемых и обезвреживаемых отходов в Российской Федерации повышается, в Арктике также наблюдается рост после снижения в 2020 г.

Кировский филиал АО «Апатит» ПАО «ФосАгро»

Представлен анализ использования отходов Кировским филиалом АО «Апатит» ПАО «ФосАгро» за период 2018–2022 гг. (табл. 2)

Таблица 2

Размещение отходов на полигоне и их утилизация на Кировском филиале АО «Апатит» ПАО «ФосАгро», млн т⁷

	2018	2019	2020	2021	2022
Размещение отходов на полигоне, в том числе:	67,1	81,6	102,4	104	85,2
Скальные вскрышные породы	54,9	69,1	89,5	90,5	72,3
Отходы обогащения	12,2	12,6	13	13,5	12,9
Утилизация отходов, в том числе:	21,3	19,7	18,6	15,9	24,3
Скальные вскрышные породы	9	7,2	6,6	3,4	11,3
Отходы обогащения	12,3	12,5	12	12,5	13,1
Текущие затраты	4 587,7	4 351,9	4 825,3	5 510,3	6 534,6

⁶ Росстат. Охрана окружающей среды в России. 2022: Статистический сборник Москва. 2022. С. 112.

⁷ Годовые отчёты ПАО «ФосАгро». URL: https://www.phosagro.ru/investors/reports_and_results/ (дата обращения: 19.06.2023).

на охрану окружающей среды, млн руб.					
--------------------------------------	--	--	--	--	--

Скальные и вскрышные породы и отходы обогащения Кировского филиала АО «Апатит» составляют основную часть твёрдых образуемых отходов ПАО «ФосАгро» (около 63%). Можно отметить рост количества повторно используемых отходов и размещаемых на полигоне. Однако доля утилизируемых скальных вскрышных пород относительно складированных снизилась. Объём утилизированных скальных пород изменялся в зависимости от возможностей их утилизации предприятием. При этом доля утилизируемых отходов обогащения практически не менялась. Эти отходы в основном используются для засыпки выработанных пространств. В зависимости от объёмов размещения отходов были использованы объёмы текущих затрат с учётом изменения стоимости мероприятий.

Следует отметить, что на Кировском филиале АО «Апатит» ПАО «ФосАгро» некоторые отходы проходят утилизацию и обезвреживание на специальных установках термического обезвреживания с целью ликвидации площадок их накопления. Реализуются мероприятия по пылеподавлению хвостохранилищ.

На Петербургском международном экономическом форуме в 2023 г. состоялось подписание соглашения о взаимодействии между Министерством науки и высшего образования России, Кольским научным центром РАН и ПАО «ФосАгро». В рамках соглашения предусматривается создание научно-исследовательского центра по изучению апатит-нефелиновых руд перспективной добычи и внедрению проектов в области новых производственных технологий. Планируется проведение комплексных исследований по разработке и реализации инновационных технологий рудоподготовки и обогащения. Предусматривается рассмотрение проблемы использования горнопромышленных отходов Кировского филиала АО «Апатит». По существу, авторы статьи считают целесообразным использовать сбалансированную модель тройной спирали взаимодействия, основанной на взаимодействии государства, научно-исследовательских организаций или университетов и промышленных предприятий, представленную на рис. 1. Такая модель эффективно используется зарубежными странами, особенно арктическими, что повышает практическую значимость повышения эффективности управления горнопромышленными отходами.



Рис. 1. «Тройная спираль» взаимодействия [20, Цукерман В.А., Жаров Н.В.].

Заполярный филиал и Кольская ГМК ПАО «ГМК «Норильский никель»»

Представлены показатели образования и утилизации горнопромышленных отходов на Заполярном филиале и Кольской ГМК ПАО «ГМК «Норильский никель»» за период 2018–2022 гг. (табл. 3)

Таблица 3

Образование отходов и их утилизация на промышленных предприятиях Заполярного филиала и Кольской ГМК ПАО «ГМК «Норильский никель»», млн т⁸

	2018	2019	2020	2021	2022
Образование отходов на Заполярном филиале	16	16	15	14	14
Утилизация отходов на Заполярном филиале	15,8	14,3	10,6	6,1	8,1
Образование отходов на Кольской ГМК	8	8	8	8	7
Утилизация отходов на Кольской ГМК	2,5	4,3	6,1	4	4
Текущие затраты на охрану окружающей среды ПАО «ГМК «Норильский никель»», млрд руб.	19,2	21,6	21,8	18,1	34,4

Практически все образуемые отходы являются вскрышными породами и отходами обогащения. Объём образования отходов на Заполярном филиале имеет отрицательную динамику, при этом объём утилизации отходов также уменьшается. Объём образования отходов на Кольской ГМК практически не меняется, при этом объём утилизации отходов повысился, особенно в 2020 г., что обусловлено потребностью в использовании отходов непосредственно предприятием: например, при приготовлении закладочных смесей, в качестве флюса при плавке металла в плавильных печах, для закладки выработанного пространства рудников, засыпки карьеров, подсыпки автодорог, выравнивания площадок, насыпи железнодорожного полотна и укрепления дамб хвостохранилищ. Большая часть образуемых горнопромышленных отходов используется на собственном производстве, остальные передаются сторонним компаниям на утилизацию. Неиспользованные отходы размещаются на хвостохранилищах на Талнахской обогатительной фабрике, Надеждинском металлургическом заводе и обогатительной фабрике в г. Заполярном. Затраты на охрану окружающей среды имеют положительную динамику, кроме затрат в 2021 г.

⁸ Отчёты об устойчивом развитии ПАО «ГМК «Норильский никель». URL: <https://www.nornickel.ru/investors/reports-and-results/annual-reports/> (дата обращения: 19.06.2023).

Дивизион «Северсталь Ресурс» ПАО «Северсталь»

Проведены исследования по образованию и утилизации отходов в дивизионе «Северсталь Ресурс» ПАО «Северсталь» за период 2018–2022 гг. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4
Образования и утилизация отходов в дивизионе «Северсталь Ресурс» ПАО «Северсталь», млн т⁹

	2018	2019	2020	2021	2022
Образование отходов, в том числе:	193	202,6	208,7	203,5	179
Вскрышные породы	160,1	170,1	175,7	170,5	149
Отходы обогащения	31,6	31,9	32,8	32,9	30
Затраты на природоохранные мероприятия в сфере обращения с отходами ПАО «Северсталь», млн руб.	634,6	683,8	476,9	740,7	663,3

Вскрышные руды и отходы обогащения составляют основной объём отходов предприятий дивизиона «Северсталь Ресурс». В компании функционируют два хвостохранилища на предприятиях АО «Олкон» и АО «Карельский окатыш». Горнопромышленные отходы производства в значительной части используются непосредственно корпорацией, прежде всего для строительства, ремонта дорог, производства щебня и обвалования дамб. Объём образованных отходов вскрышных пород и отходов обогащения существенно увеличился, кроме показателей за 2022 г., главным образом за счёт выхода из корпорации ПАО «Северсталь» предприятия «Воркутауголь». Показатели утилизации дивизиона «Северсталь Ресурс» в отчётах за рассматриваемый период не представлены. Затраты на природоохранные мероприятия в сфере обращения с отходами имеют положительную динамику, кроме 2020 г.

ПАО «НОВАТЭК»

Представлены количественные данные по образованию, утилизации и обезвреживанию отходов на ПАО «НОВАТЭК» за период 2018–2021 гг. (табл. 5).

Таблица 5
Образование, утилизация и обезвреживание отходов на ПАО «НОВАТЭК», млн т¹⁰

	2018	2019	2020	2021	2022
Образование	0,071	0,08	0,047	0,054	0,091
Утилизация	0,013	0,01	0,023	0,049	0,086
Обезвреживание	0,003	0,014	0,017	0,007	0,008
Затраты на природоохранные меро-	696	394	320	510	871

⁹ Отчёты о корпоративной социальной ответственности и устойчивости развития ПАО «Северсталь». URL: <https://www.severstal.com/rus/sustainable-development/documents/reports> (дата обращения: 19.06.2023).

¹⁰ Отчёты ПАО «НОВАТЭК» в области устойчивого развития. URL: <http://www.novatek.ru/ru/development/> (дата обращения: 19.06.2023).

приятия по безопасному обращению с отходами, млн руб.					
--	--	--	--	--	--

Основная деятельность корпорации связана с разведкой, добычей и переработкой природного газа и жидких углеводородов. В связи с основной деятельностью порядка 97% образованных отходов составляет буровой шлам. В корпорации разработана уникальная технология термодесорбции отходов, которая наряду с физико-механическими методами используется для утилизации шламов бурения на разрабатываемых месторождениях, которая позволяет повторно использовать буровой раствор на углеводородной основе. Кроме того, в корпорации функционирует система отдельного сбора, накопления и утилизации отходов, часть из которых передается сторонним компаниям. Это позволяет получить значительный экологический и экономический эффект. По полученным данным можно сказать, что объём образуемых, утилизируемых и обезвреживаемых отходов вырос, за исключением 2020 и 2021 гг. Для реализации разработанных технологий корпорация повысила объём затрат в 2018, 2021 и 2022 гг. после пандемии.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований позволяют рассмотреть возможности повышения эффективности управления горнопромышленными отходами крупными арктическими ресурсными корпорациями с целью совершенствования системы экологического регулирования и повышения эффективности экономики производства. Рассмотренные арктические корпорации за указанный период не продемонстрировали существенное повышение эффективности природоохранных мероприятий в области управления отходами, что является следствием недостаточной разработки и реализации инновационных природоохранных технологий. Следует отметить, что природные и экономические условия выдвигают требования по определению и преодолению институциональных барьеров для стратегического управления горнопромышленными предприятиями, и, в частности, использования отходов. В этом плане арктическим корпорациям совместно с научными организациями необходимо создавать собственную современную базу для инновационного развития предприятий с учётом управления отходами.

Особое значение приобретает стимулирование инновационных процессов управления отходами, формирование законов природоохранной деятельности и использование природных ресурсов, ориентированное на максимальное сохранение экологического равновесия. Это позволяет рекомендовать разработку стратегии государственного регулирования управления отходами арктических горнопромышленных предприятий, учитывающую научно-технологические, природоохранные, социально-экономические, а также другие территориальные особенности. Одной из важнейших целей стратегии является создание на арктиче-

ских территориях инновационной экономики и переход от экстенсивного использования невозобновляемых природных ресурсов к рациональному управлению.

Система управления отходами арктических корпораций горнопромышленного производства характеризуется низкой рыночной мотивацией и отсутствием стратегической государственной политики в сфере использования минерального сырья. Промышленным предприятиям более выгодно оплачивать невыполнение требований по охране окружающей среды, чем разрабатывать и внедрять инновационные технологии по переработке отходов. Управление отходами по существу сводится к соблюдению технологических регламентов проектов добычи полезных ископаемых по выполнению основных производственных процессов ресурсных предприятий.

Снижение качества минерально-сырьевой базы при сохраняющейся тенденции к экстенсивному использованию ресурсов недр позволяют сделать вывод о росте массы отходов предприятий в последующие годы. Следует эффективно использовать отходы, обладающие ценными потребительскими свойствами, и содержащиеся в них полезные минералы, не извлечённые при обогащении руд при их последующем использовании в хозяйственном обороте. В этом плане следует отметить недостаточно эффективную организацию передачи отходов для производства ценной продукции. Для повышения степени использования минеральных отходов необходима разработка специальных проектов и их реализация, которая требует принципиальной заинтересованности компаний.

В дальнейших исследованиях необходимо обратить внимание на совершенствование государственной экологической политики в Арктике в сфере управления отходами и увеличение доступности инвестиций, субсидий или других финансовых стимулов, направленных на реализацию разработанных экологических инноваций, направленных на охрану окружающей среды и повышение социально-экономического развития регионов, осуществляющих освоение и переработку минеральных ресурсов.

Заключение

1. Объёмы горнопромышленных отходов арктических предприятий за рассматриваемый период увеличились, при этом их утилизация по существу осталась на прежнем уровне, в том числе использование для собственных целей корпораций.

2. Рассмотренные корпорации не демонстрируют реальное повышение утилизации отходов относительно их образования, кроме Кольской ГМК ПАО «ГМК «Норильский никель», где показана положительная динамика.

3. Исследования показали, что корпорации недостаточно предусматривают финансовые затраты на охрану окружающей среды: в том числе затраты на создание инновационных технологий управления отходами практически не увеличились. Можно отметить, разработанную технологию термодесорбции отходов в ПАО «НОВАТЭК», которая позволила повысить утилизацию и обезвреживание отходов и, соответственно, повысить эффективность, что

позволило получить значительный экологический и экономический эффект за счёт повышения стоимости мероприятий. В рамках улучшения экологического и экономического состояния горнопромышленных предприятий предлагается использовать научно обоснованные объёмы финансовых средств и принимать соответствующие управленческие решения.

4. Для повышения эффективности управления отходами целесообразно создавать научно-производственные центры на основе использования сбалансированной модели «тройной спирали» на примере трехстороннего соглашения между государством, научно-исследовательскими организациями (университетами) и промышленными предприятиями по опыту арктических стран. Следует приветствовать подобные соглашения между ПАО «ФосАгро», Кольским научным центром РАН и Министерством науки и высшего образования России, заключённые в 2023 г.

5. Требуется уделить особое внимание разработке инновационных технологий и рациональному использованию горнопромышленных отходов для улучшения качества природной среды Арктики и экономики производства.

6. Рекомендуется использовать возможности созданного в 2023 г. Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования для содействия в разработке научных основ добычи и переработки полезных ископаемых и ускорения импортозамещения.

Список источников

1. Смиреникова Е.В., Уханова А.В., Воронина Л.В. Оценка состояния окружающей среды и обеспечения экологической безопасности в российской Арктике // Управленческое консультирование. 2018. № 9 (117). С. 59–78. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-9-59-78>
2. Tsukerman V.A., Ivanov S.V. Waste Management of Mining Enterprises of the Arctic Zone of the Russian Federation, Case Study for Murmansk Region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666. Art. 022083. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/2/022083>
3. Невская М.А., Селезнев С.Г., Маслобоев В.А., Ключникова Е.М., Кони́на О.Т., Светлов А.В., Макаров Д.В. Геоэкологические и организационно-экономические проблемы переработки горнопромышленных отходов в Российской Федерации // Вестник Кольского научного центра РАН. 2020. Т. 12. № 1. С. 11–25. DOI: <https://doi.org/10.37614/2307-5228.2020.12.1.002>
4. Derome J., Lindroos A.J. Effects of heavy metal contamination on macronutrient availability and acidification parameters in forest soil in the vicinity of the Harjavalta Cu-Ni smelter, SW Finland // Environmental Pollution. 1998. Vol. 99. Iss. 2. Pp. 225–232. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(97\)00185-1](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(97)00185-1)
5. Csavina J., Field J., Taylor M.P., Gao S., Landazuri A., Betterton E.A., Saez A.E. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations // Science of the Total Environment. 2012. Vol. 433. Pp. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.013>
6. Zhang X., Yang L., Li Y., Li H., Wang W., Ye B. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China // Environmental Monitoring & Assessment. 2012. Vol. 184. Pp. 2261–2273. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2115-6>
7. Liang J., Feng Ch., Zeng G., Gao X., Zhong M., Li X., Li X., He X., Fang Y. Spatial distribution and source identification of heavy metals in surface soils in a typical coal mine city, Lianyuan, China // Environmental Pollution. 2017. Vol. 225. Pp. 681–690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.057>

8. Cheng Z., Jiang J., Fajardo O.A., Wang Sh., Hao J. Characteristics and health impacts of particulate matter pollution in China (2001–2011) // *Atmospheric Environment*. 2013. Vol. 65. Pp. 186–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.022>
9. Суворова О.В., Манакова Н.К. Использование отходов и побочных продуктов переработки апатито-нефелиновых и эвдиалитовых руд для получения теплоизоляционных пеностеклокристаллических материалов // *Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета*. 2017. Т. 20. № 1–2. С. 189–196. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-189-196>
10. Tsukerman V.A., Kozlov A.A. Innovative Development Management of Mining Industrial Companies in the Russian Arctic Zone // *IOP conference series: materials science and engineering: International science and technology conference "FarEastCon-2019"*. 2019. Vol. 753. Art. 062020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/6/062020>
11. Маслов А.Д., Мельников Н.Н., Калашник А.И., Селин А.А., Лебедев А.В., Сухорученков А.И. Пути стабилизации и развития горнопромышленного комплекса Мурманской области // *Горный журнал*. 1998. № 4. С. 6–10.
12. Калашник А.И., Гилярова А.А., Калашник Н.А., Смирнова О.В. Исследования хвостохранилищ горно-обогатительных предприятий Кольского региона: анализ структуры затрат // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2015. № 2 (45). С. 31–39. EDN: VHOPWP
13. Митрофанова Г.В., Черноусенко Е.В., Артемьев А.В., Веселова Е.Г. Особенности минерального состава складированных отходов обогащения апатитсодержащих руд // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2021. № 18. С. 296–300. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.055>
14. Горячев А.А., Макаров Д.В., Светлов А.В. Сернокислотная грануляция медно-никелевых хвостов в климатических условиях мурманской области // *Минералогия техногенеза*. 2021. № 22. С. 116–125. EDN: CJIIWM
15. Чуркин О.Е., Гилярова А.А. Освоение отходов горного производства как инвестиционное направление развития горнорудной промышленности Кольского полуострова // *Экономика, предпринимательство и право*. 2020. Т. 10. № 3. С. 905–916. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.10.3.100742>
16. Abaka-Wood G.B., Ehrig K., Addai-Mensah J., Skinner W. Recovery of Rare Earth Elements Minerals from Iron-OxideSilicate-Rich Tailings: Research Review // *Eng*. 2022. Vol. 3. Iss. 2. Pp. 259–275. DOI: <https://doi.org/10.3390/eng3020020>
17. Громов Е.В., Опалев А.С., Иванова В.А., Хохуля М.С. Оценка эффективности переработки техногенного сырья рудных месторождений Кольского горнопромышленного комплекса // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2018. № 3 (59). С. 77–90. DOI: <https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X.3.2018.59.77-90>
18. Tsukerman V.A., Ivanov S.V. Environmental policy of resource corporations in commercial mineral production in the Arctic Zone of Russia // *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020. № 10. С. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-10-0-56-66>
19. Lèbre É., Corder G.D., Golev A. Sustainable practices in the management of mining waste: A focus on the mineral resource // *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 107. Pp. 34–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.12.004>
20. Цукерман В.А., Жаров Н.В. Институциональные аспекты стимулирования инновационных процессов европейских приарктических стран // *Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения — 2022: Материалы XI Международной научно-практической конференции*. 2022. С. 75–76.

References

1. Smirennikova E.V., Ukhanova A.V., Voronina L.V. Estimation of the Environment State and Ensuring Environmental Security in the Russian Arctic. *Administrative Consulting*, 2018, no. 9 (117), pp. 59–78. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-9-59-78>

2. Tsukerman V.A., Ivanov S.V. Waste Management of Mining Enterprises of the Arctic Zone of the Russian Federation, Case Study for Murmansk Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 666, art. 022083. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/2/022083>
3. Nevskaya M.A., Seleznev S.G., Masloboev V.A., Klyuchnikova E.M., Konina O.T., Svetlov A.V., Makarov D.V. Geocological and Business Problems of Mining and Mineral Processing Waste in the Russian Federation. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 11–25. DOI: <https://doi.org/10.37614/2307-5228.2020.12.1.002>
4. Derome J., Lindroos A.J. Effects of Heavy Metal Contamination on Macronutrient Availability and Acidification Parameters in Forest Soil in the Vicinity of the Harjavalta Cu-Ni Smelter, SW Finland. *Environmental Pollution*, 1998, vol. 99, iss. 2, pp. 225–232. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(97\)00185-1](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(97)00185-1)
5. Csavina J., Field J., Taylor M.P., Gao S., Landazuri A., Betterton E.A., Saez A.E. A Review on the Importance of Metals and Metalloids in Atmospheric Dust and Aerosol from Mining Operations. *Science of the Total Environment*, 2012, vol. 433, pp. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.013>
6. Zhang X., Yang L., Li Y., Li H., Wang W., Ye B. Impacts of Lead/Zinc Mining and Smelting on the Environment and Human Health in China. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2012, vol. 184, pp. 2261–2273. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2115-6>
7. Liang J., Feng Ch., Zeng G., Gao X., Zhong M., Li X., Li X., He X., Fang Y. Spatial Distribution and Source Identification of Heavy Metals in Surface Soils in a Typical Coal Mine City, Lianyuan, China. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 225, pp. 681–690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.057>
8. Cheng Z., Jiang J., Fajardo O.A., Wang Sh., Hao J. Characteristics and Health Impacts of Particulate Matter Pollution in China (2001–2011). *Atmospheric Environment*, 2013, vol. 65, pp. 186–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.022>
9. Suvorova O.V., Manakova N.K. Recovery of Waste and Side Products of Apatite-Nepheline and Eudialyte Ores Processing in Manufacture of Heat-Insulating Foam Glassy-Crystalline Materials. *Vestnik of MSTU. Scientific Journal of Murmansk State Technical University*, 2017, vol. 20, no. 1–2, pp. 189–196. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-189-196>
10. Tsukerman V.A., Kozlov A.A. Innovative Development Management of Mining Industrial Companies in the Russian Arctic Zone. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "Fareastcon-2019"*, 2019, vol. 753, art. 062020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/6/062020>
11. Maslov A.D., Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Selin A.A., Lebedev A.V., Sukhoruchenkov A.I. The Ways of Stabilization and Development of Mining and Industrial Complex of Murmansk Region. *Mining Journal*, 1998, no. 4, pp. 6–10.
12. Kalashnik A.I., Gilyarova A.A., Kalashnik N.A., Smirnova O.V. Study of Mining-Concentrating Enterprises' Tailings in the Kola Region: Analysis of Cost Structure. *The North and the Market: Forming the Economic Order*, 2015, no. 2 (45), pp. 31–39. EDN: VHOPWP
13. Mitrofanova G.V., Chernousenko E.V., Artemiev A.V., Veselova E.G. Specialities of Mineral Composition of Stockpiled Apatite Ore Processing Waste. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN [Proceedings of the Fersman Scientific Session of GI KSC RAS]*, 2021, no. 18, pp. 296–300. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.055>
14. Goryachev A.A., Makarov D.V., Svetlov A.V. Sulfuric Acid Granulation of Copper-Nickel Concentration Tailings in the Climatic Conditions of the Murmansk Region. *Mineralogy of Technogenesis*, 2021, no. 22, pp. 116–125. EDN: CJIIWM
15. Churkin O.E., Gilyarova A.A. Mining Wastes Management as an Investment Direction for the Development of the Kola Peninsula Mining Industry. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 2020, vol. 10, no. 3. C. 905–916. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.10.3.100742>
16. Abaka-Wood G.B., Ehrig K., Addai-Mensah J., Skinner W. Recovery of Rare Earth Elements Minerals from Iron-Oxide-Silicate-Rich Tailings: Research Review. *Eng*, 2022, vol. 3, iss. 2, pp. 259–275. DOI: <https://doi.org/10.3390/eng3020020>
17. Gromov E.V., Opalev A.S., Ivanova V.A., Khokhulya M.S. Efficiency Evaluation of Technogenic Raw Materials Processing of the Kola Mining Complex Ore Deposits. *The North and the Market: Forming*

- the Economic Order*, 2018, no. 3 (59), pp. 77–90. DOI: <https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X.3.2018.59.77-90>
18. Tsukerman V.A., Ivanov S.V. Environmental Policy of Resource Corporations in Commercial Mineral Production in the Arctic Zone of Russia. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2020, no. 10, pp. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-10-0-56-66>
 19. Lèbre É., Corder G.D., Golev A. Sustainable Practices in the Management of Mining Waste: A Focus on the Mineral Resource. *Minerals Engineering*, 2017, vol. 107, pp. 34–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.12.004>
 20. Tsukerman V.A., Zharov N.V. Institutional'nye aspekty stimulirovaniya innovatsionnykh protsessov evropeyskikh priarkticheskikh stran [Institutional Aspects of Stimulating Innovation Processes in European Arctic Countries]. In: *Sever i Arktika v novoy paradigme mirovogo razvitiya. Luzinskie chteniya — 2022: Materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The North and the Arctic in the New Paradigm of World Development. Luzinskie Readings — 2022: Proc. 11th Intern. Sci. and Pract. Conf.], 2022, pp. 75–76.

*Статья поступила в редакцию 06.07.2023; одобрена после рецензирования 24.07.2023;
принята к публикации 01.09.2023*

Вклад авторов: все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов