

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC, TECHNOLOGICAL AND PRODUCTION JOURNAL

МАРКШЕЙДЕРИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Т. 25, №1, Январь-Февраль 2025 г.

Vol. 25, № 1, January-February 2025

MINE SURVEYING AND SUBSURFACE USE

www.n-gn.ru

ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД
GEOMECHANICS, ROCK DESTRUCTION

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД
И ПРОЦЕССОВ

ROCKS AND PROCESSES

ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOECOLOGY

МИНЕРАЛЬНЫЕ

РЕСУРСЫ

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
GEO TECHNOLOGY

ГОРНОТЕХНИКА

БЕЗОПАСНОСТЬ

МИНИНГ САФЕТИ

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНОТЕХНИКА

GEOTECHNOLOGY, MINING

СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной
техники и технологий в России

27–30 мая 2025

Крокус Экспо, Москва



Разделы выставки:

- Строительная техника и транспорт
- Производство строительных материалов
- Добыча, обогащение и транспортировка полезных ископаемых
- Запчасти и комплектующие для машин и механизмов. Смазочные материалы

Организатор

**Σ SIGMA
XPO**

При поддержке

КРОКУС ЭКСПО
Международный выставочный центр



ctt-expo.ru

Журнал издаётся с 2001 года



МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ

*Е. А. Кузнецова, М. В. Мишенин,
И. В. Филимонова, А. П. Саматова*

Техногенные месторождения как объект
недропользования

В. А. Кудряшов

Перспективы комплексного рационального
использования ресурсов гидротермальных
месторождений Камчатского края

*А. И. Косолапов, В. Е. Кисляков,
А. С. Федотов, А. В. Шварцкопф*

Условия и проблемы разработки Бейского
месторождения каменного угля

*В. М. Кузнецов, В. П. Спиридонов,
В. В. Спиридонова*

Перспективы использования атомных станций малой
мощности на базе ядерного реактора Ритм-200Н при
освоении горнорудных предприятий Монголии: Часть
2: Безопасность прототипа реакторной установки КЛТ-
40С. Характеристики РИТМ-200Н

ГЕОЭКОЛОГИЯ

А. Б. Амин, А. О. Аджайи, А. Олусола

Экологическое исследование крупного производителя
сульфата алюминия и серной кислоты в штате Лагос,
Нигерия, Африка к югу от Сахары

ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Ю. С. Щегольков

Оценка величин углов полных сдвижений и углов
максимальных оседаний в условиях отработки запасов
Верхнекамского месторождения калийно-магниевых
солей

*В. Ф. Демин, С. Б. Алиев,
Н. А. Милетенко, О. В. Старостина,
В. Н. Долгоносков*

Разработка средств крепления горных выработок
с учетом напряженно-деформированного состояния
массива

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

О. Д. Белов

Определение влияния геометрии уступа и объема
обломков камнепада на его максимальную
кинетическую энергию путем создания приближенной
регрессионной модели

MINERAL RESOURCES

*E. A. Kuznetsova, M. V. Mishenin,
I. V. Filimonova, A. P. Samatova*

Technogenic deposits as an object of subsoil use

V. A. Kudryashov

Prospects for the integrated rational use of the resources
of hydrothermal deposits of the Kamchatka territory

*A. I. Kosolapov, V. E. Kislyakov,
A. S. Fedotov, A. V. Shwartskopf*

Conditions and problems of developing the Beysky coal
deposit

*V. M. Kuznetsov, V. P. Spiridonov,
V. V. Spiridonova*

Prospects of use low-power nuclear power plants based
on the Ritm-200N nuclear reactor in the development
of mining enterprises in Mongolia: Part 2: Safety of the
prototype of the KLT-40S reactor plant. Characteristics
of the Rhythm-200N

GEOECOLOGY

A. B. Ameen, A. O. Ajayi, A. Olusola

Environmental study of a major aluminum sulphate and
sulphuric acid manufacturer in Lagos State, Nigeria,
Sub-Saharan Africa

GEOMECHANICS, ROCK DESTRUCTION

Yu. S. Shchegolkov

Assessment of the values of total shifts angles and
maximum subsidence angles in conditions of mining
reserves of the Verkhnekamskoe deposit of potassium-
magnesium salts

*V. F. Demin, S. B. Aliev,
N. A. Miletchenko, O. V. Starostina,
V. N. Dolgonosov*

Development of fastening mining workings means based
on the stress-strain state of the massif

ROCKS AND PROCESSES PHYSICS

O. D. Belov

Determining the influence of bench geometry and rockfall
debris volume on its maximum kinetic energy by creating
an approximate regression model

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ,
ГОРНЫЕ МАШИНЫ**

*Г. С. Курчин, А. О. Шигин,
А. Н. Анушенков, А. К. Кирсанов,
Е. П. Волков*

Использование беспилотных летательных аппаратов
для управления процессами подземных горных работ

Д. И. Бедарев, В. Е. Кисляков

Образование техногенного ресурса при разработке
россыпных месторождений золота

ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*В. П. Спиридонов, А. А. Копылов,
О. В. Двоенко, А. Ю. Дмитриев*

Применение лазеров при чрезвычайных ситуациях в
топливно-энергетическом комплексе

**GEOTECHNOLOGY,
MINING MACHINES**

*G. S. Kurchin, A. O. Shigin, A. N. Anushenkov,
A. K. Kirsanov, E. P. Volkov*

82 Use of unmanned aerial vehicles in the underground
method of field development

D. I. Bedarev, V. E. Kislyakov

87 Formation of a man-made resource during the development
of placer gold deposits

MINING SAFETY

*V. P. Spiridonov, A. A. Kopylov,
O. V. Dvoenko, A. Y. Dmitriev*

91 The use of lasers in emergency situations in the fuel and
energy complex

Е. А. Кузнецова^{1,2}, М. В. Мишенин^{1,2}, И. В. Филимонова^{1,2}✉, А. П. Саматова^{1,2}



Аннотация. Минерально-сырьевые ресурсы техногенных месторождений являются важным элементом национальной экономики. Дальнейшее их вовлечение в хозяйственный оборот позволит не только прирастить добычу ценных полезных ископаемых, но и решить ряд экологических проблем. Статья посвящена анализу проблем, связанных с классификацией техногенных образований, их освоением и извлечением из них ценных полезных ископаемых. Авторами проведена систематизация данных о современном состоянии и актуальных изменениях законодательства в области освоения техногенных месторождений. Приведена классификация техногенных образований и уточнено определение техногенного месторождения. Обобщены данные по динамике добычи полезных ископаемых из техногенных образований в России за последние 10 лет. Показано, что соотношение этой величины к добыче из недр составило около 2,0 %. Проанализирована нормативно-правовая база в области мониторинга техногенных месторождений, предложены первоочередные мероприятия в сфере недропользования для повышения эффективности освоения техногенных образований.

Ключевые слова: недропользование, добыча минерального сырья, техногенное месторождение, отвалы, классификация
Благодарности, признательность, финансирование: Исследование выполнено в рамках проекта ИНГГ СО РАН № FWZZ-2022-0013 по программе ФНИ.

Для цитирования: Кузнецова ЕА, Мишенин МВ, Филимонова ИВ и др. Техногенные месторождения как объект недропользования. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):5-15. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-5-15>.

Е. А. Kuznetsova^{1,2}, М. V. Mishenin^{1,2}, I. V. Filimonova^{1,2}✉, A. P. Samatova^{1,2}

¹A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Novosibirsk, Russian Federation

²Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Russian Federation

✉ filimonovaiv@list.ru

Abstract. Mineral resources of technogenic deposits are an important element of the national economy and their further involvement in economic circulation will not only increase the extraction of valuable minerals, but also solve a number of environmental problems. The article is devoted to the analysis of problems associated with the classification of technogenic formations, their development and extraction of valuable minerals from them. The authors systematized data on the current state and current changes in legislation in the field of development of technogenic deposits. The classification of technogenic formations is given and the definition of a technogenic deposit is clarified. The data on the dynamics of mineral extraction from technogenic formations in Russia over the past 10 years are summarized and it is shown that the ratio of this value to extraction from the subsoil was about 2.0 %. Separately, the regulatory framework in the field of monitoring technogenic deposits is analyzed, priority measures in the field of subsoil use are proposed to improve the efficiency of development of technogenic formations.

Keywords: technogenic deposit, man-made deposit, waste dumps, subsoil use, classification, extraction of man-made mineral raw materials

Acknowledgments, funding, financial support: The research was carried out within the framework of the IPGG SB RAS project № FWZZ-2022-0013 under the FNI program.

For citation: Kuznetsova EA, Mishenin MV, Filimonova IV, et al. Technogenic deposits as an object of subsoil use. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):5-15. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-5-15>.

Введение

За последнее десятилетие экологические вопросы сопровождаются повышенным интересом в связи с ростом ответственности компаний за загрязнение окружающей среды и, как следствие, недопущение экологического вреда. Устойчивый рост объемов отходов производства и потребления, которые составили рекордные 9,3 млрд т в 2023 году, что на 3,0 % выше уровня 2022 года, приводит к необходимости совершенствования законодательной и нормативно-правовой базы в сфере обращения отходов.

Значительная часть отходов формируется в сфере недропользования, поскольку рост экономики также сопровождается ростом потребления энергетических ресурсов и множества других минеральных ресурсов, используемых в смежных отраслях. Это приводит к формированию техногенных образований [1].

Техногенные образования ценны тем, что они содержат большое количество остаточных запасов полезных ископаемых. Однако их длительное хранение на определенной территории сопровождается накоплением экологического вреда вследствие окисления и проникновения загрязняющих веществ, в том числе с высокой категорией опасности, в почву, водоемы и атмосферу. Поэтому своевременное освоение техногенных месторождений позволяет решить не только экономические задачи, но и экологические проблемы.

В настоящий момент наблюдается несоответствие между нормативно-правовым обеспечением освоения техногенных ресурсов и современными реалиями горного производства. Необходимо на законодательном уровне обозначить перечень организационных и управленческих задач для недропользователей.

Библиографический анализ демонстрирует, что за последнее десятилетие количество публикаций по изучению особенностей освоения техногенных месторождений находится на стабильно низком уровне (не более 15 публикаций в год). В основном исследователи изучают перспективы и стратегии освоения определенных металлов техногенных месторождений в конкретных регионах.

Так, авторы Е. А. Дорош, Б. Л. Тальгамер [2] охарактеризовали значимые горнотехнические критерии отработанных месторождений россыпного золота и сформировали систему распределения запасов в техногенных месторождениях в Ленском районе. И. М. Потравный, Н. Даваахуу и С. Г. Москвитин [3, 4] изучали вопросы по переработке техногенного сырья в Арктической зоне. В работе С. В. Иванова [5] рассмотрены практические результаты утилизации отходов горнодобывающей промышленности и показана целесообразность рассмотрения хвостохранилищ как техногенных месторождений с низким содержанием ценных компонентов.

Существует ряд работ, связанных с разработкой и проведением природоохранных мероприятий для минимизации экологического вреда от освоения техногенных месторождений. Например, в работах таких авторов, как В. Е. Стровский, А. Н. Иванов, О. Г. Комарова, М. Н. Игнатьева [6, 7].

Учеными предложена классификация принципов оценки эколого-экономической эффективности, предусматривающая выделение нескольких групп принципов:

- описывающих особенности эффективности освоения техногенных месторождений,
- отражающих условия выполнения оценочных процедур.

Таким образом, данная тематика освоения техногенных месторождений вызывает научный интерес среди исследователей геологической отрасли, однако из-за недостаточно проработанной нормативно-правовой базы существует ряд вопросов и проблем, которые необходимо обозначить и решить.

Цель исследования: выявление закономерностей динамики и структуры добычи полезных ископаемых из техногенных месторождений с учетом систематизации данных о современном состоянии и актуальных изменений законодательства в области освоения техногенных месторождений.

Материал и методы исследования

Определение и классификация техногенных месторождений как объекта исследования

В настоящий момент существуют различные виды отходов горной промышленности, основную массу которых формируют предприятия, ведущие добычу полезных ископаемых из недр: в угольной промышленности, при добыче железной руды, руд цветных металлов, а также материалов для строительства.

Для определения техногенных образований используется множество похожих терминов. В основном горнопромышленные отходы (ГПО) разделяют по причине их возникновения, это добыча, обогащение и переработка. Под ГПО понимаются твердые, жидкие и пылегазовые продукты, образующиеся в процессах добычи, обогащения и переработки сырья.

Основная проблема заключается в том, что количество видов техногенных образований достаточно разнообразно, что вызывает сложности формирования точного терминологического аппарата. Это в свою очередь приводит к нарушениям в их учете, разделении ответственности и мониторинге.

Техногенные минеральные образования можно разделить на несколько основных источников (табл. 1).

При существующих традиционных технологиях и современной технике ни одна из отраслей не может обеспечить полное преобразование потребляемых ресурсов в конечные продукты.

В горно-обогатительных и металлургических отраслях с их многослойным производством и переработкой минерального сырья появляется большое количество вторичного сырья в виде отвалов. Отвалы характеризуются высокой ценностью, которая обеспечивается за счет значимой концентрации в них полезных ископаемых, достаточной для вторичной переработки. Использование продукции из такого вида сырья позволяет достигнуть экономической эффективности при ее реализации за счет спроса и существующей выработанности действующих месторождений [8, 9].

Таблица 1 / Table 1

Горно-добывающая промышленность	
Топливо-энергетический комплекс	
Металлургическое производство	

Источник: составлено авторами по данным отчета ФГУ «КГЗ» 2012 г. по НИОКР, базовый проект 10-П1-01.

По ресурсной ценности горнопромышленные отходы разделяются на два типа:

1. Отходы, временно «отложенные».
2. Техногенные образования, состоящие из отвалов и хвостохранилищ.

В свою очередь техногенные образования разделяются еще на два типа: перспективные или смешанные отвалы, то есть часть ГПО, складированная в хранилищах, имеющих пространственные границы, и техногенные месторождения, разделенные на комплексные хвостохранилища, нерудные и рудные специальные отвалы, которые в будущем можно использовать в рентабельных целях [10–12].

С учетом высокой степени выработанности традицион-

ных месторождений полезных ископаемых и развития новых технологий и техники добычи техногенные месторождения представляют большой интерес для освоения.

Информационная база исследования

Теоретической базой исследования послужили научные труды отечественных и зарубежных авторов, которые провели большую работу по систематизации сведений о техногенных месторождений, классификации твердых полезных ископаемых из отвалов, техногенных образований и отходов производств, теоретически обосновали новые технологии освоения техногенных месторождений для повышения уровня извлечения твердых полезных ископаемых, экономически обосновали целесообразность разработки отходов различного типа, предложили различные способы переработки техногенных образований для минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В информационную базу работы включены данные справочно-правовых информационных систем «Консультант Плюс», «Гарант», учитывались стратегические документы Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Министерства экономического развития Российской Федерации, Министерства энергетики Российской Федерации, а также информация из годовых отчетов Федерального агентства по недропользованию (Роснедра).

Методика исследования

В ходе выполнения исследования использовались совокупность методов, в том числе принцип системности, единства анализа и синтеза, эколого-экономический анализ. Для выявления тенденций изменения во времени и структуры добычи полезных ископаемых из техногенных месторождений применен анализ временных рядов. Качественный анализ и аналитический подход использованы при работе с нормативно-правовой базой для выявления проблемных аспектов при освоении запасов техногенных образований и формирования предложений по первоочередным мероприятиям для повышения эффективности освоения техногенных образований.

Результаты исследования

Текущее состояние добычи полезных ископаемых из техногенных месторождений

За последние несколько лет значительно увеличился спрос на цветные металлы (медь, свинец, цинк, олово и др.). В 2024 году производство металлопроката выросло на 11 % и сопровождалось пропорциональным ростом потребления продуктов металлургической отрасли страны. Также наблюдался рост спроса на металлы, применяемые в высокотехнологических производствах (ниобий, литий, бериллий, тантал, цирконий и др.). Удовлетворению растущего спроса на металлические руды, а также руды, содержащие благородные металлы, может способствовать процесс вовлечения в хозяйственный оборот техногенных месторождений [13–15].

В государственных докладах «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» за 2013–2022 годы сообщается, что производилась добыча из техногенных образований (месторождений и отвалов) таких полезных ископаемых, как железные руды, медь, никель, кобальт, свинец, цинк, олово, вольфрам, цирконий, золото,

				1				1		
	11	11	11	11						1
	11	11	11	11						
			1						1	
					1					
	11			11					11	11
		1								
			11	11	11	11	11		11	11
	11	11	11	11						
	11	11	11	11			1			
	11	11	11	11	11	11	11			
«	11	11	11	11	11	11	11		1	
										1
		1			1		1			1

Источник: составлено авторами по данным Государственных докладов Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов» за 2014–2023 гг.

Compiled by the authors based on data from the State Reports of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation and the Federal Agency for Subsoil Use “On the Status and Use of Mineral Resources” for 2014–2023.

серебро, платиноиды, фосфаты, плавиковый шпат (табл. 2). Согласно Распоряжению Правительства РФ от 30 августа 2022 года № 2473-р, данные виды полезных ископаемых входят в состав основных видов стратегического минерального сырья.

В настоящий момент Россия располагает крупнейшей сырьевой базой *железных руд*. По состоянию на начало 2023 года запасы категорий $A + B + C_1$ составили около 57 млрд т, запасы категории C_2 – 61 млрд т, что на 13 % больше, чем в предыдущем году. В 2022 году извлечено 5 млн 600 тыс. т железных руд из техногенных образований (отвалов) и 324 млн т из недр, что считается наименьшим показателем за последние 10 лет. Наибольшая доля железной руды, добытой из техногенных образований, по отношению к их добыче из недр была в 2019 году и составляла 5,6 %, а в 2022 году она сократилась до 1,7 %. Добыча железных руд осуществляется на 49 месторождениях. Крупнейшим железорудным бассейном является Курская магнитная аномалия (КМА), на долю которого приходится почти 49 % добычи всех железных руд в России. Также около 20 % добычи ведется на Урале и 21 % – в Северо-Западном федеральном округе.

Уровень добычи *меди* после 2016 года устойчиво возрастал, что связано с вводом в эксплуатацию новых объектов: Томинского месторождения в Челябинской области и Быстринского месторождения в Забайкальском крае. В 2022 году добыча меди велась на 49 месторождениях, включая 41 медное и 8 медьсодержащих, также медь извлекалась из 3 техногенных месторождений. Доля добычи меди из техногенных месторождений в 2022 году составила 1 % от добычи меди из недр. В долгосрочной перспективе добыча меди вероятно сохранится на текущем уровне, поскольку сырьевая база достаточна для обеспечения потребностей экономики. По состоянию на начало 2023 года запасы меди катего-

рии $A + B + C_1$ составили около 77 млрд т, запасы категории C_2 – 25,5 млрд т.

Информация о добыче *никеля* из техногенных месторождений доступна только с 2017 года, до этого времени добыча никеля осуществлялась из недр. В 2022 году добыча никеля из недр составила 278 тыс. т, а добыча из техногенных месторождений – 8 тыс. т, что соответствует 2,7 % от добычи из недр. Снижение добычи никеля в 2021 года обусловлено приостановкой подземных рудников «Октябрьский» и «Таймырский» в Норильском районе и аварией на Норильской обогатительной фабрике, вследствие чего добыча сократилась на 13 %. После ликвидации аварийных ситуаций добыча никеля в 2022 году выросла.

Степень выработанности запасов *кобальта* достаточно низка. В нераспределенном фонде недр находится почти четверть запасов, а в разработку вовлечено менее половины. Основная добыча кобальта осуществляется ПАО «ГМК «Норильский никель». За 2022 год добыча кобальта из техногенных месторождений осуществлялась из двух месторождений Норильского района и составила 0,45 тыс. т. Данный показатель находится на стабильном уровне с 2017 года. Доля добычи кобальта из техногенных месторождений составляет в среднем около 4 % от его добычи из недр.

Россия по объему производства *свинцового* концентрата входит в десятку крупнейших стран-производителей. В основном свинец производят из вторичного сырья: аккумуляторного лома, кеков и пр. Добыча свинца осуществляется из недр и техногенных образований, с 2013–2018 годов уровень добычи из этих источников был сопоставим. Так, доля добычи свинца из техногенных месторождений в 2015 году составляла 63 % от добычи из недр, но за последнее десятилетие добыча свинца из недр существенно выросла, что обусловлено началом добычи на Озерном месторождении. Так,

добыча свинца из недр в 2022 году составила 318 тыс. т, а из техногенных месторождений – 9 тыс. т. В 2019–2022 годах добыча свинца из техногенных месторождений приостановилась в связи с прекращением разработки отвалов Горевского месторождения.

Цинк пользуется спросом в широком круге областей, среди которых выделяется производство цинковых сплавов и полуфабрикатов на основе цинка, используемых в строительной отрасли, автомобилестроении и при производстве бытовых приборов. Добыча цинка из техногенных месторождений с 2013–2022 годов сильно колебалась от 93 до 9 тыс. т. В 2022 году добыча цинка из техногенных месторождений сократилась в 4 раза, и ее доля от добычи из недр составила 2 %.

Россия располагает крупнейшей сырьевой базой *олова* в мире, но степень освоенности низкая, что обусловлено слабым внутренним спросом на металл и отсутствием интереса со стороны инвесторов. В 2017–2020 годах олово в значимых количествах извлекалось из техногенных образований. В 2020 году добыча из техногенных образований составила 154 т, что соответствовало 3,2 % от добычи из недр. В 2021–2022 годах добыча олова из техногенных месторождений не осуществлялась.

Сырьевая база *вольфрама* достаточно крупная, при этом треть запасов заключена в рудах, в которых он присутствует в качестве попутного компонента. С 2013 года уровень добычи вольфрама планомерно снижался. В 2022 года добыча из недр составила 2,8 тыс. т, из техногенных месторождений, включая отвалы, – 1,9 тыс. т. В 2022 году основная добыча вольфрама из техногенных образований велась в Республике Бурятия и Забайкальском крае.

Показатели добычи *циркония, золота, серебра, платиноидов* из техногенных месторождений незначительны, поскольку основная их часть добывается из недр. Так, цирконий добывался из техногенных месторождений только в 2013–2014 годах. В большинстве случаев он извлекается как попутный продукт при переработке комплексных руд.

Информация о добыче *фосфатов* (апатитовых руд) доступна с 2020 года. В 2022 году разрабатывалось 10 месторождений апатитовых руд, из которых 9 расположены в Мурманской области и ежегодно обеспечивают 90 % добычи, еще 1 месторождение находится в Свердловской области. Также 2 техногенных месторождения, образованных отходами переработки апатит-магнетитовых руд, находятся в Мурманской области. В 2021 году доля добычи фосфатов из техногенных месторождений составляла 9,2 % от добычи из недр, в 2022 году данный показатель составил 2,5 %.

Плавиновый шпат с 2014 года добывается в ограниченном количестве, дальнейшее вовлечение месторождений требует внедрения эффективных технологических систем обогащения сырья и улучшения экономических условий их разработки. В 2022 году из недр добыто 76 тыс. т, из отвалов – 38 тыс. т.

Таким образом, анализ состояния и использования минерально-сырьевых ресурсов показал, что в настоящий момент наблюдается наличие масштабной сырьевой базы по ряду минералов и возможность ее дальнейшего расширения за счет использования техногенно-минерального сырья в различных направлениях [16, 17]. Несмотря на это, динамика добычи из техногенных образований демонстрирует скорее стагнацию, чем устойчивый рост. Наибольшие объемы тех-

ногенно-минерального сырья сосредоточены в виде отходов горнодобывающего комплекса и связанных с ними перерабатывающих производств.

Решение проблем техногенных месторождений необходимо рассматривать:

- во-первых, как экономически выгодный и масштабный ресурс для прироста сырьевой базы;
- во-вторых, как решение проблем охраны окружающей среды и улучшение экологической ситуации;
- в-третьих, как одно из направлений развития технологической, экономической и социальной составляющих регионов, поскольку потребуется создание дополнительных рабочих мест и привлечение оборудования на современной технологической основе.

В любом случае на первом этапе необходимо обратиться к законодательной базе, которая требует новых мер для упорядочивания работ недропользователей с техногенным сырьем.

Актуальное состояние законодательства в области освоения и мониторинга техногенных месторождений

По мере накопления отходов горнопромышленных предприятий формируются так называемые техногенные месторождения. Определение термина «техногенное месторождение» постоянно меняется и дополняется в соответствии с направлениями развития отрасли и законодательной базы. Также меняется и классификация техногенных образований вслед за совершенствованием технологий извлечения полезных ископаемых.

В сентябре 2003 года распоряжением МПР России № 408-р был утвержден новый способ обозначения стандартов содержания твердых полезных ископаемых в техногенных образованиях, отвалах и отходах производства. Сами по себе отвалы и отходы горнодобывающего производства с наличием твердых полезных ископаемых обозначаются как техногенные месторождения. Промышленное значение техногенного месторождения устанавливается недропользователем по стандарту, который задает предельный норматив содержания твердых полезных ископаемых в отвалах или отходах, ниже которого эти полезные ископаемые не отрабатываются. Однако такое определение требует детализации с учетом особенностей добычи полезных ископаемых на техногенных месторождениях.

Особенностью освоения техногенных месторождений является необходимость оценки их влияния на состояние окружающей среды и формирования прогноза параметров будущего состояния территории. В целом для полной оценки влияния техногенных месторождений на экологическую обстановку необходимо использовать все имеющиеся материалы проводимых ранее геоэкологических исследований, в том числе данные экологического мониторинга [17].

Регулирование подходов и принципов освоения минерально-сырьевой базы техногенных месторождений осуществляется основными документами:

- Законом РФ «О недрах»;
- Федеральным законом «О драгоценных металлах и драгоценных камнях»;
- Федеральным законом «Об отходах производства и потребления»;
- Налоговым кодексом РФ;

– Кодексом Российской Федерации об административных правонарушениях.

К сожалению, в настоящее время в России не сформировался единый нормативно-правовой режим в отношении освоения именно техногенных месторождений, наблюдаются существенные недостатки правового регулирования в данной сфере. Однако создание такого правового режима необходимо в целях формирования оптимальных условий для эффективного вовлечения в производственную деятельность недропользователей. Учитывая обеспечение принципа рационального использования и охраны недр со стороны государства, это может решить проблемы экологического и экономического характеров освоения таких месторождений, а также повысит интерес субъектов предпринимательской деятельности.

Анализ нормативно-правовых документов позволяет сделать вывод об отсутствии четкого определения «техногенное месторождение». Например, в статье 6.3 Закона РФ «О недрах» прописано, что использовать горнодобывающие и горнопромышленные отходы в дальнейшем хозяйственном обороте недропользователь может, получив лицензию на добычу полезных ископаемых. В статье 22 Закона РФ «О недрах» сказано, что недропользователь имеет право распоряжаться отходами, полученными в ходе добычи или производства, если иное не подразумевается в лицензии. То есть необходимость получать отдельную лицензию на добычу полезных ископаемых отсутствует, если недропользователь не перевел свои отходы в категорию техногенного месторождения. Однако если он отказался от них, то на эти отходы можно получить лицензию на добычу полезных ископаемых другим лицам.

Для проведения экспертизы используются разработанные в середине прошлого столетия «Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» с последней редакцией в 2015 году, где внимание техногенным образованиям практически не уделялось. В 25 февраля 1994 года ГКЗ утверждено «Методическое руководство по изучению и экономико-экологической оценке техногенных месторождений». В нем не были указаны категории запасов техногенных месторождений, что носило рекомендательный характер и на хозяйственной практике не могло быть использовано для проведения качественной и количественной экспертизы объемов запасов на техногенных объектах. Использовать на практике алгоритм действий перевода горнопромышленных отходов (ГПО) в категорию техногенных месторождений, указанный в данной методике, затруднительно из-за отсутствия однозначной геолого-экономической оценки полезных ископаемых. Также усложнен процесс перевода ГПО в категорию техногенного месторождения по причине многокомпонентности таких образований, что усложняется контролем и несовершенством нормативно-правовой базы в особенности драгоценных металлов. Действующее положение, утвержденное МПР России от 5 июля 1999 года № 83-р «Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердых полезных ископаемых)», не регламентирует оценку и разведку техногенных россыпей, которые существенно отличаются от природных россыпей.

Действующая «Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденная При-

казом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 11 декабря 2006 года № 278 и введенная в действие с 1 января 2008 года, не подходит для описания геологического строения техногенных объектов ввиду их сложности образования. За последние два года в российском законодательстве были приняты меры по регулированию добычи на техногенных месторождениях (табл. 3).

В настоящий момент вводятся изменения к законодательству:

1. *Спящие лицензии.* Законопроектом введен альтернативный экономический механизм стимулирования недобросовестных пользователей недр к проведению работ по геологическому изучению недр в нормативно установленные сроки. Изменения в закон «О недрах», согласно которым увеличатся платежи за пользования недрами после окончания плановых сроков на геологоразведку, вступили в силу 1 сентября 2024 года, а по углеводородному сырью вступят с 1 сентября 2026 года. Законопроект № 63540-8 «О внесении изменений в статью 43 Закона Российской Федерации «О недрах».

2. *Стимулирующие меры.* С 1 января 2024 года введены специальные требования к участникам аукциона на участки недр федерального и местного значения (а также на участки, не отнесенные к указанным критериям) по решению Правительства РФ определен стартовый размер платежей:

- в размере не менее 10 % величины суммы НДПИ в расчете на среднегодовую мощность добывающей организации;
- в размере не менее 5 % величины суммы НДПИ в расчете на среднегодовую мощность добывающей организации по нефти и (или) газовому конденсату – в отношении нефти и газового конденсата соответственно.

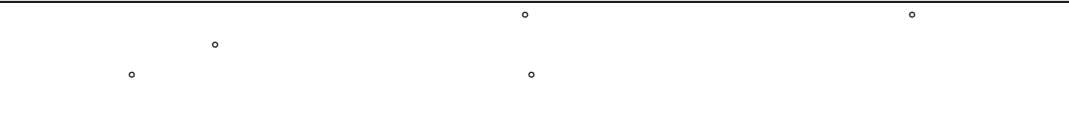
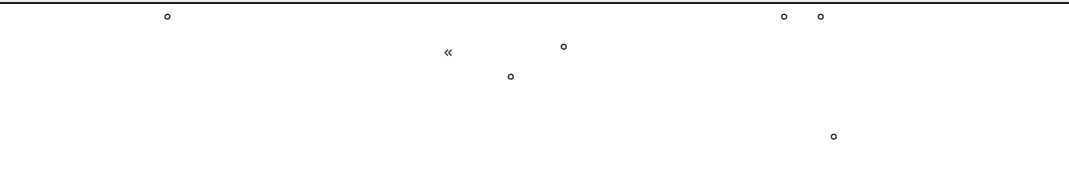
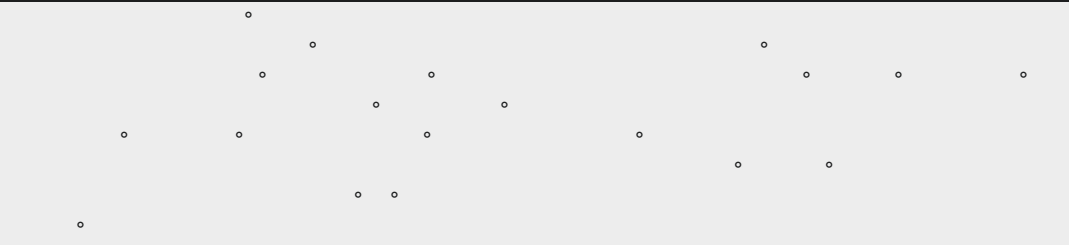
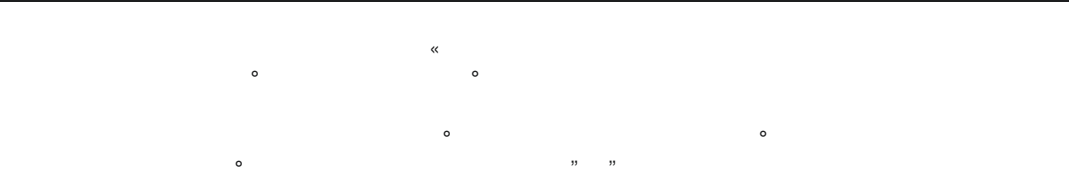
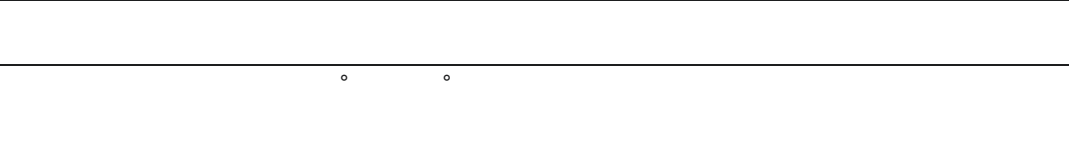
В отношении трудноизвлекаемых полезных ископаемых, в том числе и на техногенных месторождениях, стартовый платеж будет равен сумме сбора за участие в аукционе.

3. *Правила предоставления права пользования.* С 1 марта 2024 года установлен новый порядок предоставления права пользования участком недр, содержащим техногенное месторождение, в соответствии с настоящими Правилами:

– допускается в случае постановки запасов полезных ископаемых на государственный баланс запасов при осуществлении пользователем недр геологического изучения на участке недр, в границах которого ранее в результате пользования недрами иными лицами образованы отходы недропользования и (или) в отношении которого ранее запасы полезных ископаемых были списаны с государственного баланса;

– право пользования участком недр, содержащим техногенное месторождение, предоставляется юридическому лицу, созданному в соответствии с законодательством Российской Федерации, осуществлявшему геологическое изучение такого участка недр, по результатам которого запасы техногенного месторождения полезных ископаемых поставлены на государственный баланс (Постановление Правительства Российской Федерации от 9 октября 2023 года № 1651).

4. *Трансформация поисковых лицензий в добычные.* Реализован механизм перевода поисковых лицензий в лицензии на добычу полезного ископаемого после постановки на государственный баланс ранее списанных запасов или отработанных отходов недропользования. Такое решение позволит максимально вовлечь в экономику ранее задействованные

?	
<< << ??	
<<	
<< ??	
<< ??	
	
<<	
<< ? ?	
	

- у лица, которому передается право пользования участком недр, должна быть утвержденная проектная документация на осуществление геологического изучения недр, вклю-

Необходимо структурировать реестр техногенных ме-

сторождений. Формирование регламентирующих методических и нормативных документов по классификации, геологическому и технологическому изучению, подсчету запасов различного вида техногенного сырья и вовлечению их в хозяйственный оборот позволит упорядочить работы недропользователей техногенных месторождений и учесть различные экономические и социальные эффекты.

Сформировать кадастровую оценку актуального состояния техногенных отходов с обязательной формой отчетности на разных уровнях управления и создать информационную базу данных как основу ведения государственного кадастра.

Юридически закрепить возможные преференции недропользователям, разрабатывающим объекты ГПО. В настоящий момент с недропользователей регулярно изымаются экологические сборы и штрафы за сверхнормативные сбросы. Налоговые преференции – освобождение от уплаты НДС и сокращения налога на прибыль – могут улучшить переработку ГПО, что в перспективе привлечет инвесторов для организации производства.

Упростить процедуру выдачи лицензий на право деятельности с организацией переработки техногенных образований для недропользователей.

Заключение

1. Несмотря на то что в последние годы государство существенно дополнило нормативно-правовую базу в сфере освоения техногенных месторождений, все же единый полноценный правовой режим освоения техногенных месторождений еще не сформирован. Формирование такого правового режима необходимо для создания условий эффективного вовлечения техногенных образований хозяйственный оборот.

2. Необходимо также учитывать принципы рационального использования и охраны недр, обеспечивать экологическую и экономическую безопасность при освоении техногенных месторождений, а также повышать заинтересованность со стороны недропользователей.

3. Решение проблем, связанных с геологическим изучением и освоением техногенных образований, необходимо

рассматривать, во-первых, как значительный ресурс для расширения минерально-сырьевой базы ценных полезных ископаемых, во-вторых, как решение проблем охраны окружающей среды и улучшения экологической ситуации и, в-третьих, как одно из направлений развития экономической и социальной составляющих регионов, поскольку потребуется создание дополнительных рабочих мест, привлечение и развитие новых технологий.

4. В любом случае на первом этапе необходимо обратиться к законодательной базе, которая требует новых мер для упорядочивания работ недропользователей с техногенным сырьем.

Выводы

1. В данной статье освещены проблемы, связанные с классификацией техногенных образований, их освоением и извлечением из них ценных полезных ископаемых.

2. Проведена систематизация данных о современном состоянии и актуальных изменениях законодательства в области освоения техногенных месторождений. Проведен библиографический анализ, который демонстрирует, что за последнее десятилетие количество публикаций по изучению особенностей освоения техногенных месторождений находится на достаточно низком уровне.

4. Опираясь на опыт отечественных исследований, дана классификация техногенных образований и уточнено определение техногенного месторождения. Обобщены данные по динамике добычи полезных ископаемых из техногенных образований в России за последние 10 лет. Это позволило установить, что доля добычи полезных ископаемых из техногенных образований в России не превышает 2,0 %. Проанализирована нормативно-правовая база в области мониторинга техногенных месторождений, предложены первоочередные мероприятия в сфере недропользования для повышения эффективности освоения техногенных образований.

5. Результаты исследований могут быть использованы в научно-исследовательских и образовательных целях, а также быть полезными специалистам в области освоения техногенных образований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Чернявский АГ. О проблеме освоения техногенных ресурсов. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2020(3):58-64. Chernyavsky AG. On the problem of development of technogenic resources. *Mineral resources of Russia. Economics and management*. 2020;3:58-64. (In Russ.).
2. Дорош Е. А., Тальгамер Б. Л. Анализ минерально-сырьевой базы золотодобычи в Ленском золотоносном районе и обоснование направлений развития способов разработки россыпей. *Науки о Земле и недропользование*. 2022;45(3):222-34. Dorosh EA, Talgamer BL. Analysis of the mineral resource base of gold mining in the Lena gold-bearing region and substantiation of the directions of development of placer mining methods. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2022;45(3):222-234. (In Russ.). doi: 10.21285/2686-9993-2022-45-3-222-234.
3. Потравный ИМ, Даваахуу Н. Использование опыта Монголии по переработке техногенного сырья при реализации инвестиционных проектов в Российской Арктике. *Россия и Монголия: опыт и перспективы международной интеграции в образовании и науке: сб. мат-лов Межд. науч.-практ. конф., посв. 20-летию Улан-Баторского филиала РЭУ им. Г. В. Плеханова и 80-летию победы битвы на Халхин-Голе / под ред. Н. В. Антиповой*. Улан-Батор, 2019: 42-6. Potravny IM, Davaakhuu N. Using Mongolia's Experience in Processing Man-Made Raw Materials in the Implementation of Investment Projects in the Russian Arctic. *Russia and Mongolia: experience and prospects of international integration in education and science*. Collection of materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Ulaanbaatar branch of the Plekhanov Russian University of Economics. G.V. Plekhanov and the 80th anniversary of the victory in the Battle of Khalkhin Gol. Edited by N.V. Antipova. Ulaanbaatar, 2019:42-6. (In Russ.).
4. Москвитин СГ. Перспективы комплексного освоения техногенных месторождений олова и вольфрама Арктической зоны Якутии. *EURASTRENCOLD-2023: сб. тр. XI Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях климатически низких температур, посвященного 85-летию со дня рождения академика В. П. Ларионова*. Киров, 2023: 403-7. Moskvitin SG. Prospects for the Integrated Development of Man-Made Tin and Tungsten Deposits in the Arctic Zone of Yakutia.

EURASTRENCOLD-2023. Collection of papers of the XI Eurasian symposium on the problems of strength and resource in conditions of low climatic temperatures, dedicated to the 85th anniversary of the birth of Academician V.P. Kirov, 2023:403-7. (In Russ.).

5. Иванов СВ. О возможностях использования горнопромышленных отходов в Мурманской области. *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2023;3(61):79-85.

Ivanov SV. On the possibilities of using mining waste in the Murmansk region. *Bulletin of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2023;3(61):79-85. (In Russ.). doi: 10.19110/1994-5655-2023-3-79-85.

6. Стровский ВЕ, Иванов АН, Комарова ОГ. Основополагающие принципы оценки эколого-экономической эффективности освоения техногенных месторождений. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. 2024;18(1):139-47.

Strovskiy VE, Ivanov AN, Komarova OG. Fundamental principles for assessing the environmental and economic efficiency of developing man-made deposits. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*. 2024;18(1):139-47. (In Russ.). doi: 10.14529/em240113.

7. Комарова ОГ, Игнатьева МН. Формирование методического обеспечения инструмента оценки эколого-экономической эффективности освоения техногенных месторождений. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2024;3(75):142-53.

Komarova OG, Ignatyeva MN. Formation of methodological support for a tool for assessing the ecological and economic efficiency of developing technogenic deposits. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2024;3(75):142-53. (In Russ.). doi: 10.21440/2307-2091-2024-3-142-153.

8. Пшеченкова ЕП, Гуров СД, Самсонов АА. Современное состояние учета и геологической изученности техногенных объектов минерального сырья. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2023;4(183):17-21.

Pshechenkova EP, Gurov SD, Samsonov AA. Current state of accounting and geological study of technogenic objects of mineral raw materials. *Mineral resources of Russia. Economics and management*. 2023;4(183):17-21. (In Russ.).

9. Таракановский ВИ. Проблемы отработки техногенных россыпей. *Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: сб. тез. докл. XII Межд. науч.-практ. конф. М., 2023. С. 469-71.*

Taranovsky VI. Problems of developing technogenic placers. *Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, assessing deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals*. Collection of abstracts of reports of the XII International scientific-practical conference. Moscow, 2023:469-71. (In Russ.).

10. Игнатьева МН, Стровский ВЕ, Логвиненко ОА и др. Проблемы, затрудняющие введение в хозяйственный оборот техногенных месторождений. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2023;4(72):137-45.

Ignat'eva MN, Strovskiy VE, Logvinenko OA, et al. Problems complicating the introduction of technogenic deposits into economic circulation. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2023;4(72):137-45. (In Russ.).

11. Маликова ОИ, Максимова АМ. Господдержка развития редкоземельной промышленности и модернизация экономики. *ЭКО*. 2021;5(563):77-95.

Malikova OI, Maksimova AM. State support for the development of the rare earth industry and modernization of the economy. *ECO*. 2021;5(563):77-95. (In Russ.). doi: 10.30680/ECO0131-7652-2021-5-77-95.

12. Игнатьева МН, Юрак ВВ, Душин АВ и др. Техногенные минеральные образования: проблемы перехода к циркулярной экономике. *Горные науки и технологии*. 2021;6(2):73-89. Ignatyeva MN, Yurak VV, Dushin AV, et al. Man-made mineral formations: problems of transition to a circular economy. *Mining sciences and technologies*. 2021;6(2):73-89. (In Russ.). doi: 10.17073/2500-0632-2021-2-73-89.

13. Лебедев А, Маркворт Л. Переработка минерального сырья техногенных месторождений с применением высокоэффективных технологий. *Рациональное освоение недр*. 2020;(1):69-71.

Lebedev A, Markworth L. Processing of mineral raw materials from man-made deposits using highly efficient technologies. *Rational development of subsoil*. 2020;1:69-71. (In Russ.). doi: 10.26121/RON.2020.56.66.008.

14. Полянская ИГ, Юрак ВВ, Стровский ВЕ. Повышение уровня сбалансированности недропользования в регионе с помощью учета отходов недропользования. *Экономика региона*. 2019;15(4):1226-40.

Polyanskaya IG, Yurak VV, Strovskiy VE. Increasing the level of balance of subsoil use in the region by accounting for subsoil use waste. *Economy of the region*. 2019;15(4):1226-40. (In Russ.). doi: 10.17059/2019-4-20.

15. Макаров АБ, Талалай АГ, Хасанова ГГ. Геолого-промышленные типы техногенных месторождений. *Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2018;8(284):39-45.

Makarov AB, Talalay AG, Khasanova GG. Geological and industrial types of technogenic deposits. *Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2018;8(284):39-45. (In Russ.). doi: 10.19110/2221-1381-2018-8-39-45.

16. Мишенин МВ, Юркевич НВ, Филимонова ИВ, и др. Обоснование инвестиционной привлекательности освоения техногенного отвала с высокой концентрацией барита. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. 2023;4-2(56):196-205.

Mishenin MV, Yurkevich NV, Filimonova IV, et al. Justification of investment attractiveness of development of technogenic dump with high concentration of barite. *Geology and mineral resources of Siberia*. 2023;4-2(56):196-205. (In Russ.). doi: 10.20403/2078-0575-2023-4b-196-205.17.

17. Проворная ИВ, Филимонова ИВ, Юркевич НВ и др. Экономическая оценка комплекса мероприятий по рекультивации территории от техногенного воздействия. *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. XXII Межд. науч.-практ. конф.: в 3 т. Москва, 2021:104-7.*

Provornaya IV, Filimonova IV, Yurkevich NV, et al. Economic assessment of a set of measures for reclamation of the territory from technogenic impact. *Actual problems of ecology and nature management*. Collection of scientific papers of the XXII International scientific and practical conference: in 3 volumes. Moscow, 2021:104-7. (In Russ.).

18. Nadudvari A, Krzykawski T, Jabłońska M, et al. Organic minerals in a self-heating coal-waste dump in Upper Silesia, Poland: Structure, formation pathways and environmental issues. *International Journal of Coal Geology*. 2024;281:104403. doi: 10.1016/j.coal.2023.104403.

19. Taşkın DY, Mehmet OG, Orhan K. Effects of EU-Compliant mining waste regulation on Turkish mining sector: A review of characterization, classification, storage, management, recovery of mineral wastes. *Resources Policy*. 2024;90:104836. doi: 10.1016/j.resourpol.2024.104836.

20. Wahyono Y, Sasongko NA, Trench A, et al. Evaluating the impacts of environmental and human health of the critical minerals mining and processing industries in Indonesia using life cycle assessment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2024;10:100944. doi: 10.1016/j.cscee.2024.100944

21. Tuncay G, Yuksekdağ A, Mutlu BK. A review of greener approaches for rare earth elements recovery from mineral wastes. *Environmental Pollution*. 2024;357:124379. doi: 10.1016/j.envpol.2024.124379.

22. Na H, Eom Y, Yoo K, et al. A review on the reprocessing of sulfide tailings for resource recovery and AMD prevention using mineral processing methods. *Minerals Engineering*. 2024;218:109025. doi: 10.1016/j.mineng.2024.109025.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Екатерина Андреевна Кузнецова –

канд. экон. наук, научный сотрудник лаборатории эколого-экономического моделирования техногенных систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук;

доцент кафедры политэкономии экономического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», 630090, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: zemnikhovaeva@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5290-2186>

Михаил Владимирович Мишенин –

канд. экон. наук, доцент, заведующий лаборатории эколого-экономического моделирования техногенных систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук;

доцент кафедры политэкономии экономического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», 630090, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: MisheninMV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7017-1698>

Ирина Викторовна Филимонова –

д-р. экон. наук, профессор, заведующий центром экономики недропользования нефти и газа, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук;

заведующая кафедрой политэкономии экономического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», 630090, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: FilimonovaIV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4447-6425> /

Анастасия Павловна Саматова –

лаборант, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук;

студент экономического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», 630090, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: a.samatova@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8742-8669>

ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina A. Kuznetsova –

PhD in Economics, research associate at the laboratory of ecological and economic modeling of technogenic systems, Federal State Budgetary Scientific Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor at the Department of Political Economy of the Faculty of Economics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Novosibirsk National Research State University, 630090, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: zemnikhovaeva@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5290-2186>.

Mikhail V. Mishenin –

Associate Professor, PhD in Economics, Head of the Laboratory of Ecological and Economic Modeling of Technogenic Systems, Federal State Budgetary Scientific Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences;

Associate Professor of the Department of Political Economy of the Faculty of Economics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Novosibirsk National Research State University, 630090, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: MisheninMV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7017-1698>.

Irina V. Filimonova –

Professor, Doctor of Economics, Head of the Center for Economics of Subsoil Use of Oil and Gas, Federal State Budgetary Scientific Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences;

Head of the Department of Political Economy of the Faculty of Economics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Novosibirsk National Research State University, 630090, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: FilimonovaIV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4447-6425>.

Anastasia P. Samatova –

laboratory assistant, Federal State Budgetary Scientific Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences;

student of the Faculty of Economics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Novosibirsk National Research State University, 630090, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: a.samatova@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8742-8669>

Критерии авторства / Contribution:

Е. А. Кузнецова – выполнение работы по систематизации материала, формулировка проблемы исследования, сбор актуальных данных, классификация данных, анализ результатов исследования, написание текста статьи; **М. В. Мишенин** – актуализация и систематизация нормативно-правовой базы в области исследования, сбор данных; **И. В. Филимонова** – генерация идеи исследования, постановка цели и задач исследования, контроль над целостностью и логикой работы; **А. П. Саматова** – сбор данных, редактирование текста работы / **E. A. Kuznetsova** – performing work on systematization of the material, formulation of the research problem, collection of relevant data, classification of data, analysis of research results, writing the text of the article; **M. V. Mishenin** – updating and systematization of the regulatory framework in the field of research, data collection; **I. V. Filimono-va** – generation of the research idea, setting the goal and objectives of the research, control over the integrity and logic of the work; **A. P. Samatova** – data collection, editing of the text of the work.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.11.2024.

Поступила после рецензирования: 14.12.2024.

Принята к публикации: 19.12.2024.

Article info

Received: 19.11.2024.

Revised: 14.12.2024.

Accepted: 19.12.2024.

В. А. Кудряшов✉

ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический ЦЕНТР»

Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН),
683002, г. Петропавловск-Камчатский, Камчатский край, Российская Федерация

✉ vladimirkudryasho@yandex.ru

Аннотация. Комплексное использование Камчатских гидротермальных месторождений является актуальной задачей. С учетом специфики региона предложены следующие направления использования ресурса гидротермальных месторождений: коммунальное (отопление), бальнеологическое (строительство санаторно-курортного комплекса), рыбоводное (выращивание малька лосося), сельскохозяйственное (развитие технологий выращивания в зарытом грунте), минерально-сырьевое (извлечение химических элементов) и туристско-рекреационное. На примере Эссовского гидротермального месторождения показаны возможности комплексного освоения подобных месторождений. Ресурс месторождения используется нерационально, в основном в качестве теплоносителя для отопления зданий села Эссо. В то же время термальные воды и грязи Эссовского месторождения содержат ценные химические элементы и высокоактивные бальнеологические компоненты и могут быть использованы для лечения и реабилитации, а также извлечены в процессе освоения месторождения. Наличие бальнеологических грязей позволяет их использовать в бальнеологии. Тепловой ресурс сбросной геотермальной воды позволяет построить на базе Эссовского месторождения лососевый рыбоводный завод мощностью до 80 млн штук малька в год. На основании анализа природных факторов и сравнения с действующим курортом «Белокуриха» (Алтайский край РФ) сделан вывод о наличии разнообразных природных условий и возможности комплексного и рационального освоения Эссовского гидротермального месторождения. Наличие бора и мышьяка в водах Эссовского гидротермального месторождения расширяет направления бальнеологического использования. Предложенная комплексная схема освоения месторождений позволяет повысить эффективность использования месторождения до 85 % и снизить экологическую нагрузку.

Ключевые слова: Камчатский край, Эссовское гидротермальное месторождение, геотермальные ресурсы, комплексное использование, бальнеология, курортно-рекреационные ресурсы

Благодарность: Выражаю благодарность генеральному директору АО «Тепло Земли» И. А. Белькову за разрешение использования материалов химического анализа по Эссовскому месторождению, а также сотрудникам НИГТЦ: ведущему инженеру Т. И. Ратчиной и младшему научному сотруднику З. И. Хижко за выполнение химических анализов пробы грязи.

Для цитирования: Кудряшов В.А. Перспективы комплексного рационального использования ресурсов гидротермальных месторождений Камчатского края. *Маркишейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 16-24. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-16-24>.

V. A. Kudryashov✉

FGBUN Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, (RGTC FEB RAS),
683002, Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatsky Krai, Russian Federation

✉ vladimirkudryasho@yandex.ru

Abstract. The integrated use of Kamchatka hydrothermal deposits is an urgent task. Taking into account the specifics of the region, the following directions of using the resource of hydrothermal deposits are proposed: communal (heating), balneological (construction of a sanatorium complex), fish farming (cultivation of salmon fry), agricultural (development of technologies for growing in buried

soil), mineral raw materials (extraction of chemical elements) and tourist and recreational destinations. Using the example of the Essovsky hydrothermal field, the possibilities of complex development of such fields are shown. The resource of the deposit is used irrationally, mainly as a coolant for heating buildings in the village of Esso. At the same time, the thermal waters and mud of the Essovsky deposit contain valuable chemical elements and highly active balneological components and can be used for treatment and rehabilitation, as well as extracted during the development of the deposit. The presence of balneological mud allows them to be used in balneology. The thermal resource of the discharged geothermal water makes it possible to build a salmon hatchery with a capacity of up to 80 million pieces of fry per year on the basis of the Essovsky deposit. Based on the analysis of natural factors and comparison with the current resort of Belokurikha (Altai Territory of the Russian Federation), it was concluded that there are various natural conditions and the possibility of integrated and rational development of the Essovsky hydrothermal field. The presence of boron and arsenic in the waters of the Essovsky hydrothermal field expands the directions of balneological use. The proposed integrated field development scheme makes it possible to increase the efficiency of field use by up to 85 % and reduce the environmental burden.

Keywords: geothermal deposit, resort and recreational resources, Bystrinsky district, Kamchatka Territory, therapeutic areas, radon

Acknowledgment: I would like to express my gratitude to I.A. Belkov, General Director of JSC «Teplo Zemly», for allowing the use of chemical analysis materials for the Essovskoye field, as well as to the staff of the *RGTC FEB RAS*: T. I. Ratchina, a leading engineer, and Z. I. Khizhko, a junior researcher, for performing chemical analyses of the mud sample.

For citation: Kudryashov VA. Prospects for the integrated rational use of the resources of hydrothermal deposits of the Kamchatka territory. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):16-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-16-24>.

Введение

Комплексное освоение гидротермальных ресурсов – актуальная задача, особенно для слабо освоенных территорий РФ, таких как Камчатский край. В настоящее время камчатские геотермальные ресурсы используются в основном для производства энергии (тепловой и электрической) и в меньшей степени для бальнеологии и других направлений, известных из мирового опыта [1]. По оценке [1], мощность прямого использования геотермальной энергии во всем мире на 2020 год составляла 107 727 МВт. Основные направления использования геотермальной энергии: 58,8 % – тепловые насосы (включая использующие грунтовые воды); 18 % – для купания (спа-салоны, курорты, бальнеология, лечение за счет термальных ванн и т. п.); 16 % – на отопление помещений (из них 91 % – на централизованное отопление); 3,5 % – для отопления теплиц (выращивание овощей, цветов, саженцев деревьев, кактусов, фруктов, включая бананы, – Исландия); 1,6 % используется для применения в промышленности (розлив минеральной воды, пастеризация молока, кожевенная промышленность, переработка бумаги, извлечение CO_2 , извлечение минеральных солей); 1,3 % – для выращивания аквакультуры (наиболее распространены тилапия, лосось и форель, выращиваются также тропические рыбы, омары, креветки и даже аллигаторы – США); 0,4 % – для сушки сельскохозяйственных культур (морские водоросли, лук, злаки, мякоть кокоса и др.); 0,2 % – для таяния снега на тротуарах (в основном в Исландии – 74 %, необходимая мощность на 1 м² составляет 130–180 Вт) и кондиционирования; 0,2 % – прочие направления (например, выращивание спироулины – род *Arthrospira*, опреснение, стерилизация емкостей).

Территория Камчатского края занимает первое место по запасам геотермального ресурса в России. По информации Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, запасы тепла геотермальных вод в целом по Камчатскому краю, оцениваются в 5 тыс. МВт, из них 82 % – пригодны для использования в теплоснабжении, 18 % – для выработки электроэнергии [2]. Использование же этих ресурсов в крае крайне незначительно: по состоянию на 1 января 2022 года в структуре энергетического баланса Камчатского края на долю геотермальных источников приходится всего 8,3 % (6,6 % – электроснабжение и 1,7 % – теплоснабжение) [3].

По некоторым оценкам, около 80 % [4] целебных термальных и минеральных источников России находится на Камчатском полуострове (233 источника¹). Ряд источников обладают уникальными целебными свойствами [5]. На Камчатке найдено большое количество слабominеральных вод с повышенным содержанием кремнистой кислоты [5]. В сочетании с азотом, сероводородом, углекислым газом и радоном это определяет большой набор типов лечебных минеральных вод.

В статье [6] отмечается перспективность азотно-кремниевых термальных вод Камчатки особенно для лечения кожных заболеваний. Небольшое количество кремниевой кислоты позволяет ускорить регенерацию кожи. Таким образом, термальные воды Камчатских месторождений могут выступать в качестве перспективного сырья для дерматологии.

К крупным месторождениям азотно-кремнистого типа относятся: Нижне-Паратунские, Паужетские, Начикинские и Эссовское гидротермальные месторождения. Несмотря на обилие гидротермальных источников, официальных санаториев, использующих термальные воды для бальнеологии на Камчатке, – единицы. Они расположены на незначительном расстоянии (до 100 км) от краевого центра – г. Петропавловска-Камчатского. Речь идет, например, о «Жемчужине Камчатки», военном санатории «Паратунка», «Начикинском». Несмотря на уникальность, большая часть гидротермальных источников, расположенных в центре Камчатки, из-за их труднодоступности и отсутствия инфраструктуры освоены слабо.

Одним из направлений комплексного использования тепла термальной воды для Камчатского региона является выращивание малька на лососевых рыбодобывочных заводах (ЛРЗ). Это тем более актуально, что для ЛРЗ не требуется использование высокотемпературной воды, достаточно использовать термальную воду с температурой 20–35 °С. Всего на Камчатке действует пять ЛРЗ, что, по оценке [7], недостаточно. Отмечается в целом низкая эффективность действующих ЛРЗ, что связано как с несовершенством методики подсчета воз-

¹Карта гидротермальной, вулканической и сейсмической активности Камчатки. Составлена А. В. Кирюхиным с использованием карты термоминеральных источников Камчатки. 2006. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН // вер. 08.2019. М 1:1500000.1

врата, так и с отсутствием должного финансирования ЛРЗ. В то же время в работе [7] отмечается, что коэффициент возврата производителей на ЛРЗ при использовании термальной воды для подращивания молоди нерки более чем в два раза превышает средние показатели по Камчатке. Следовательно, выращивание малька в подогретых термальной водой бассейнах более эффективно. Что связано с тем, что термальная вода стимулирует рост молоди и способствует повышению выживаемости нерки в ранний период морской жизни.

Одним из перспективных направлений комплексного использования гидротермальных месторождений Камчатки является извлечение химически ценных компонентов, методы извлечения приведены в работе [8].

Все вышеперечисленное говорит о наличии колоссальных гидротермальных ресурсов на Камчатском полуострове, которые, к сожалению, используются нерационально.

Цель исследований: определить перспективные направления комплексного освоения ресурсов гидротермальных месторождений Камчатки на примере Эссовского гидротермального месторождения.

Объект исследования

Рассмотрим комплексный подход на примере Эссовского гидротермального месторождения (рис. 1). В границах месторождения расположено село Эссо Быстринского округа Камчатского края ($55^{\circ}55'34.93''$ СШ; $158^{\circ}42'06.08''$ ВД).



Рис. 1.

Fig. 1.

Это практически центр Камчатского полуострова (рис. 1А), село имеет связь по дороге с твердым покрытием с краевым центром – Петропавловском-Камчатским (расстояние

около 500 км). В с. Эссо развита социальная инфраструктура, имеются гостиницы, больница, аптека, почта, банки, музей. Отопление села осуществляется исключительно за счет дешевой термальной воды месторождения, котельные и вредные производства, загрязняющие воздух, отсутствуют. Электро-снабжение поселка осуществляется за счет малой гидроэлектростанции мощностью 1,7 МВт (Быстринская МГЭС-4).

Использование Эссовских термоминеральных источников началось задолго до появления публикаций о них. Первое упоминание в литературных источниках, по-видимому, приведено в кратких заметках К. И. Богдановича (1897 г.) [15]. Упоминание использования для рекреационных целей Тигеюейнских источников (современное название – Эссовские) приведено в работе Б. И. Пийпа (1937 г.) [16. С. 194], где имеется ссылка на сообщение А. Л. Биркенгофа об обустройстве ключей у реки Оксичан (по-ламутски – «тепленькая», современное название реки – Уксичан). Он писал: «Жителями поселка Ессо здесь устроен небольшой крытый деревянный сруб с бассейном для купания». По-видимому, это первое упоминание о рекреационном использовании термальной воды данного месторождения.

Серьезный скачок в освоении месторождения произошел с началом в середине прошлого столетия поисковых работ на термальную воду для нужд отопления.

Эссовское геотермальное месторождение является типичным представителем месторождений с трещинно-жильным типом циркуляции термальных вод. Термальные воды Эссовского месторождения являются высоконапорными (43,2–77,9 м в. ст. над поверхностью земли). В настоящее время на Эссовском месторождении эксплуатируются девять скважин (расположение на карте – рис. 1Б): 7, 8, 13, 16, 20, 41, 42, 43, 44. Глубина скважин варьируется от 258,3 (скв. 8) до 1015 м (скв. 44). Величина балансовых эксплуатационных запасов гидротерм, утвержденная ГКЗ СССР (протокол 9150 от 24.12.1982) по промышленным категориям: А – 4,7 тыс. м³/сут (55 л/с), В – 8,2 тыс. м³/сут (95 л/с) и С₁ – 7,8 тыс. м³/сут (90 л/с) со средневзвешенной температурой воды 75 °С. В настоящее время в с. Эссо официальной здравницы (санатория) не существует. Для целей курортного лечения месторождение не используется (в основном это купание в термальных ваннах и бассейнах).

Материал и методы исследований

Для туристско-рекреационного направления комплексного использования гидротермального ресурса необходимо учитывать такие факторы, как нетронутая природа (здесь расположен Быстринский природный парк); чистый воздух и вода; наличие длительно сохраняющегося снежного покрова; отсутствие загрязняющих производственных объектов. Особо привлекает туристов в с. Эссо бесплатный круглогодичный термальный пруд-охладитель (бассейн) в центральной части поселения. Только малая часть сбросной воды используется в этом бассейне для купания местного населения и приезжих туристов, львиная же доля воды рассредоточенно сбрасывается в реки Быструю и Уксичан. Крупные тепличные хозяйства отсутствуют, немногочисленные мелкие фермерские хозяйства покрывают местный круглогодичный спрос на овощи, однако цены на овощную продукцию остаются достаточно высокими. Рыбобороздные хозяйства отсутствуют.

Проведенные измерения температур «сбросной» термаль-

ной воды зимой в с. Эссо показали в среднем значение около $+50^{\circ}\text{C}$, летом температура сброса выше: $+60^{\circ}\text{C}$. По сути, используется максимум 38 % потенциала месторождения, что говорит о несовершенстве существующей системы отопления и нерациональном использовании термальной воды. В случае комплексного использования возможно снижение температуры сбросной воды до $+10^{\circ}\text{C}$. Согласно Схеме теплоснабжения², в с. Эссо фактическая мощность системы теплоснабжения (при температуре сброса $+50^{\circ}\text{C}$) составляет 17,92 Гкал/ч, при действующей подключенной нагрузке – 11,16 Гкал/ч, существующий избыток мощности для подключения перспективных объектов составляет 6,76 Гкал/ч. Следует отметить, что энергетический потенциал месторождения не исчерпан, прогнозные ресурсы Эссовского месторождения составляют 22,8 МВт при температуре 104°C [9], что позволяет говорить о возможном строительстве в перспективе геотермальной бинарной электростанции. Для уточнения прогноза необходимо бурение параметрической скважины глубиной не менее 2,5 км.

Варианты рационального использования гидротермального месторождения могут быть различны для разных месторождений, вместе с тем возможны и общие подходы к освоению ресурса в Камчатском крае. Не все направления комплексного освоения ресурса, исходя из мирового опыта, целесообразно использовать на Камчатских гидротермальных месторождениях.

Наиболее перспективно использовать геотермальные ресурсы в следующих направлениях:

1. Для энергетических целей, электро- и теплоснабжения [9], в том числе с применением тепловых насосов [10] и систем низкотемпературного отопления.
2. Для целей бальнеологии, с использованием находящихся в термальной воде и грязях бальнеологических минеральных компонентов и радона.
3. Для сельскохозяйственного производства: овощеводства закрытого грунта.
4. Для разведения малька ценных промысловых пород рыб на лососевых рыбодобных заводах (ЛРЗ) [7], поскольку Камчатка является наиболее разнообразным и высокопродуктивным регионом Дальнего Востока (объем вылова лососевых – до 250 тыс. тон в год).
5. Для извлечения из геотермальной воды концентратов химических элементов, например бора, фтора, лития, мышьяка (возможные технологии описаны в [11, 12]).
6. Для извлечения попутных газов [13] из геотермальных вод, таких как CO_2 , Ar, He, H_2 и др.
7. Для туристско-рекреационных целей [14], в том числе купания в термальных бассейнах, природных ваннах, использования в спа-салонах и т. п.

Кроме всего, для комплексного использования термальных месторождений необходимо учитывать разнообразные природные факторы, в том числе климат, экологию, освоенность района, обеспечение инфраструктурой, наличие других природных ресурсов.

Вышеизложенное говорит о высоком потенциале Эссовского месторождения и крайне нерациональном использовании гидротермального ресурса. Аналогичная ситуация

наблюдается и на других гидротермальных месторождениях Камчатки.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлена предлагаемая схема комплексного рационального освоения Камчатских гидротермальных месторождений на примере Эссовского месторождения.

Геотермальная вода из скважин с температурой 76°C (условно на схеме показана одна скважина) поступает на газоотделительные емкости, где происходит отделение попутных газов, содержащих азот, аргон, гелий и радон. Смесь газов подается в комплекс по мембранному извлечению газов, где последовательно извлекаются аргон и гелий. Радон улавливается адсорбентом (например, активированным углем) с последующей десорбцией при температуре 350°C и используется в бальнеологическом комплексе для приготовления лечебных ванн и ингаляций. Азот выпускается в атмосферу, а товарный газ (Ar, He) закачивается в баллоны для реализации. Высокотемпературная геотермальная вода после отделения в газоотделителе подается потребителям в санаторный комплекс, жилой комплекс и сопутствующую инфраструктуру (для отопления и горячего водоснабжения). Часть высокотемпературной воды подается по трубопроводам для отопления производственных помещений тепличного комплекса, лососевого рыбодобного завода, комплекса по извлечению минеральных компонентов, а также в общественный бассейн для регулировки температуры.

Отработанная геотермальная вода с температурой около 55°C после использования на жилищном и санаторном комплексе подается в общественный термальный бассейн, тепличный комплекс для низкотемпературной системы отопления и подогрева почвы, а также для отопления дорожек и тротуаров. Эта же вода может быть использована для сушки древесины, рыбы, камчатских дикоросов (папоротника, ягод, грибов, трав).

Термальная вода после тепличного комплекса, а также слив с общественного бассейна, с температурой около 35°C подается на лососевый рыбодобный завод, где подогревает пресную воду из реки Быстрой с температурой около 4°C до оптимальной температуры, необходимой для выращивания молоди лосося (около $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$).

Остывшая термальная вода с температурой около 10°C подается в комплекс по концентрированию и извлечению минеральных компонентов. Часть концентрата солей, содержащего бальнеологически активные компоненты, используется в санаторном комплексе для приготовления ванн, часть преобразуется в концентраты (товарную продукцию), содержащие минеральные компоненты, например Li, F, As, В. После комплекса по извлечению компонентов очищенная термальная вода сливается в окружающие водоемы, при этом состояние окружающей среды улучшается по сравнению с сбросами неочищенной воды.

При оценке использования в бальнеологии представляет интерес сравнение Эссовского месторождения с известным курортом «Белокуриха», где, по данным А. А. Логинова [17], в 2021 году запасы по категории В утверждены в количестве $600\text{ м}^3/\text{сут}$, что на порядок меньше запасов Эссовского гидротермального месторождения. Температура белокуринских терм составляет $30\text{--}42^{\circ}\text{C}$, что практически в два раза ниже действующего геотемпературного режима Эссовского месторождения. Минеральный состав этих месторождений

²Схема теплоснабжения Эссовского сельского поселения Быстринского муниципального района Камчатского края на период до 2038 года (актуализация на 2023 год). Утверждаемая часть. Петропавловск-Камчатский, 2023. 55 с.

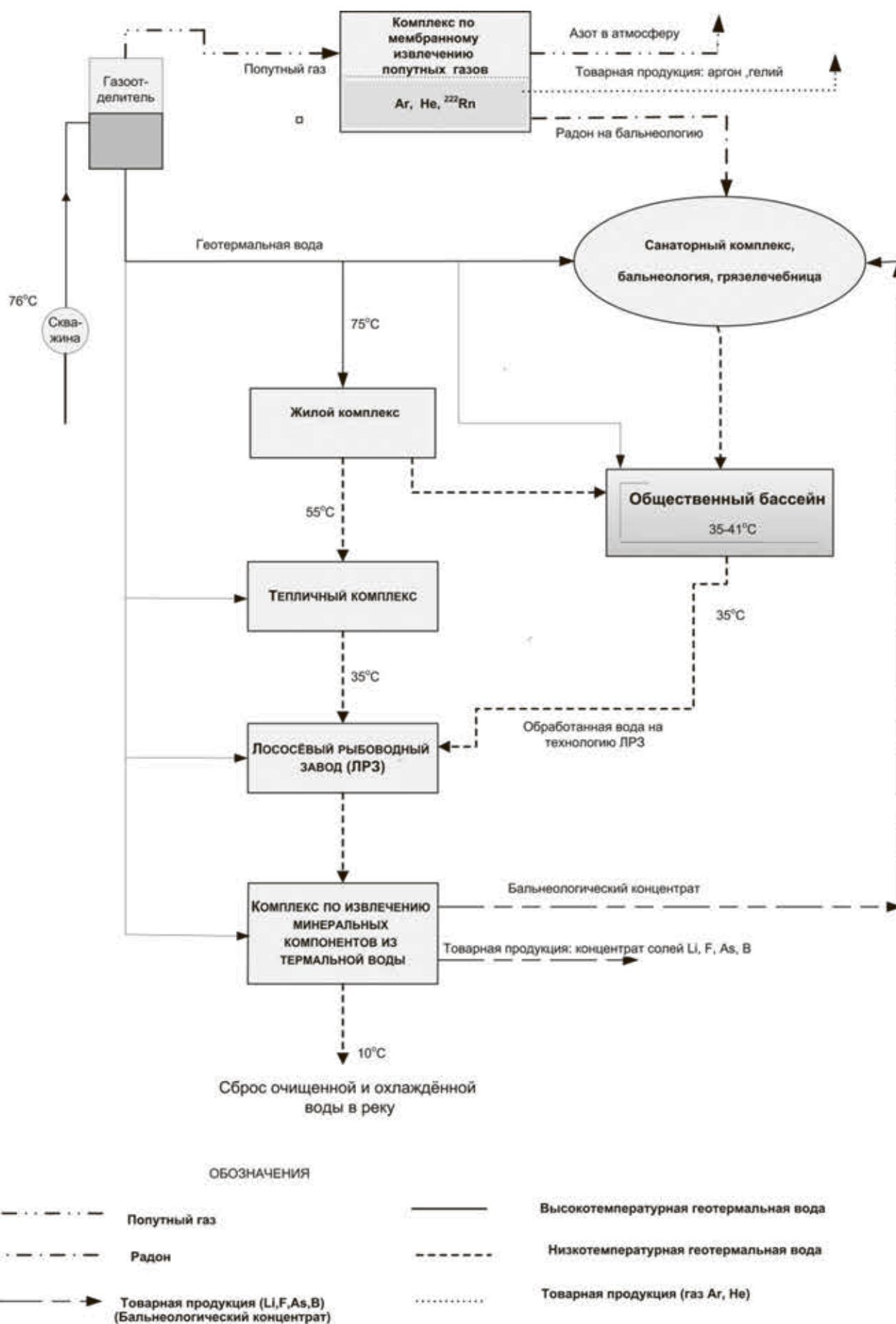


Рис. 2.

Fig. 2

близок, оба месторождения относятся к азотно-кремнистым [18]. Исследования, проведенные автором данной статьи, показали наличие радона в попутных газах Эссовского месторождения, что так же, как и Белокурихинские источники (где в скважинах активность радона варьируется от 160 до 360 Бк/дм³ при среднем значении 290 Бк/дм³ [19]), позволяет отнести воды Эссовского месторождения к слаборадоновым [20]. Авторами [21] отмечается, что слабое альфа-излучение способствует усилению регенерации клеток органов человека, что позволяет провести аналогию воздействия природных вод этих месторождений.

Содержание кремнекислоты Эссовского месторождения 46,5–72 мг/л³ (по отчету³ М. Н. Ерохина) соответствует Белокурихинским источникам (до 65 мг/л). Аналогичные данные получены лабораторией НИГТЦ в 2024 году, например, в скважине № 44 содержание H₄SiO₄ составляло 104 ± 5 мг/дм³.

Ниже приведено сравнение содержания основных микрокомпонентов в водах Эссовского и Белокурихинского месторождений, в скобках даны данные по содержанию компонентов в воде курорта «Белокуриха» [17]:

- фтор – 1,2–3,2 мг/л (17,8 мг/л);
- литий – 0,1–1,7 мг/л (0,087 мг/л);
- метаборная кислота – 0,8–6,0 мг/л (нет данных);
- мышьяк – 0,05–0,23 мг/л (нет данных).

По многолетним наблюдениям минерализация Эссовского месторождения значительно выше Белокурихинского месторождения и составляет 931–1607 мг/л (318,8 мг/л). И то и другое месторождения – слабощелочные, pH = 6,6–9,7 (8,7–9,8).

На рисунке 3 (см. цв. вклейку на стр. 57) приведены результаты анализа воды, представленные эксплуатирующей организацией АО «Тепло Земли» по скв. № 7, за более чем 30-летний период. Проведенный анализ изменения химического состава вод месторождения показывает стабилизацию минерального состава воды Эссовского месторождения, некоторые случайные отклонения связаны, по-видимому, с нарушением методики отбора проб воды со скважин работниками эксплуатирующей организации.

По многим свойствам термальная вода Эссовского месторождения наиболее близка к угличскому типу (по ГОСТ Р 54316–2011. Воды минеральные питьевые. XVIII. Хлоридносульфатная кальциевонатриевая). Содержание токсикологических компонентов в термальной воде Эссовского месторождения (мышьяка и метаборной кислоты) превышает ПДК (0,05 мг/л и 0,5 мг/л соответственно) в некоторых скважинах в несколько раз. Однако необходимо отметить, что, согласно ГОСТ Р 54316–2011 (стр. 6), мышьяк не является токсичным элементом в минеральных лечебных водах, содержащих природный биологически активный мышьяк.

В медицине мышьяковые ванны с успехом используются для лечения многих заболеваний, включая подагру, артрит, экзему, псориаз и др. В теплых ваннах мышьяк проникает через кожу и оказывает лечебное действие на пораженные участки тела. Мышьяковые воды положительно влияют на

процессы кроветворения и гормонообразующую функцию щитовидной железы.

Содержание бора в Эссовской термальной воде по сравнению с 1991 годом практически не изменилось (рис. 3). Минеральные воды борсодержащих источников исторически применялись для лечения кожных заболеваний, промывания глаз, гнойных ран и др., а также в психиатрии и неврологии [22].

Таким образом, между эссовскими и Белокурихинскими термальными водами можно провести условную бальнеологическую аналогию, так как имеется похожий состав и концентрация основных элементов и газов, а также присутствует радон. Это говорит о возможности открытия на базе вод Эссовского месторождения санатория для профилактики и лечения заболеваний, таких же как на действующем российском курорте «Белокуриха». Усиление лечебного воздействия термальной воды Эссо может быть достигнуто за счет использования альгофлоры (термофильных водорослей, которые в изобилии произрастают здесь в термальных водоемах) и лечебных натильных грязей.

Пелоиды – эффективное природное средство от многих болезней [23]. По предварительной оценке, грязи Эссовского месторождения обладают целебными свойствами: ранозаживляющим эффектом от механических и ожоговых повреждений, в отношении к патогенным микроорганизмам – антибактериальностью. Грязи лишены раздражающего действия на слизистые и кожу. Анализ грязи «дикого» источника «Ключики» (рис. 1Б, обозначен прямоугольником слева) показал, что грязь характеризуется как минерализованная, нейтральная pH = 6,88 ± 0,1 (измерения проводились по методике ГОСТ 26423-85) с электропроводностью 809 ± 40 мСм/см, хлоридно-сульфатная, натриево-кальциевая. Отмечается повышенное содержание некоторых элементов, как, например, Ba, Li, Sr, Ti. Бальнеологическое воздействие грязей Эссовского месторождения гидротерм требует дальнейшего углубленного изучения.

Ведущее место в составе попутного газа Эссовских гидротерм занимает азот – 98,3–98,5 %, в небольших количествах содержится кислород – 0,0228–0,0684 % об., метан – 0,113–0,144 % об. и инертные газы: гелий – 0,0186–0,0350 % об., аргон – 1,275–1,527 % об. Водород и угольная кислота определяются в пределах точности измерений и соответствуют практически нулевому значению. Сероводород в составе газа гидротерм не обнаружен. По содержанию азота Эссовское месторождение близко к Белокурихинскому, где также высокое содержание азота (достигает 98 % от объема всех газов, остальное – инертные газы) [17]. Учитывая, что в попутном газе Эссовского месторождения имеются ценные газы, одним из направлений комплексного использования гидротерм является извлечение инертных газов (например, с помощью современных мембранных технологий, описанных в работах [24, 25]). Выделение природного радона из попутного газа позволяет использовать его на объектах бальнеологии.

Одним из путей рационального освоения Эссовского месторождения является строительство бальнеологического курорта федерального значения.

Следующее направление комплексного использования гидротермальных месторождений – выращивание малька ценных пород рыб на лососевых рыбодонных заводах. Это особенно актуально для бассейна реки Камчатки – крупнейшего водного объекта полуострова Камчатка, на котором до сих пор нет ни одного ЛРЗ. Предварительные расчеты автора

³Ерохин М.Н., Манухин Ю.Ф., Мальцева К.И., Воронкова Л.М. Сводный отчет о результатах разведочных работ на Эссовском геотермальном месторождении, проведенных в 1969–1982 гг. (с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 03.1982 г.): В трех томах: Т.1 / Камчатское промысловое управление по использованию глубинного тепла земли. Петропавловск-Камчатский, 1982. 316 с.

данной статьи показывают, что на базе сбросной термальной воды Эссовского месторождения можно построить ЛРЗ мощностью выпуска до 80 млн штук малька в год.

Рекомендуемая последовательность шагов для организации использования сбросных вод гидротермального месторождения на ЛРЗ:

1. Экспертная оценка целесообразности, предварительный выбор биотехники и места, разводимого вида лососевых.
2. Разведка гидротермального ресурса и пресной воды с учетом расходов на конец зимнего периода (потребность в воде и тепле на ЛРЗ максимальна, а природные источники пресной воды истощаются до минимума).
3. Выбор места отбора производителей на закладку икры.
4. Разработка рыбоводно-биологического обоснования (РБО).
5. Проектирование завода.
6. Закупка оборудования, строительство ЛРЗ.
7. Контроль работы ЛРЗ до выхода его на полную мощность, отладка технологии до получения первых возвратов лосося.

С учетом вышеизложенных направлений комплексного использования гидротермальных месторождений Камчатки возможно увеличение использования потенциала гидротермальных месторождений Камчатки с 38 до 85 %.

Выводы

1. Комплексное использование камчатских гидротермальных месторождений (на примере Эссовского месторождения) предполагает следующие направления:

туристско-рекреационное, климато-бальнеологическое, коммунальное, рыбоводное, сельскохозяйственное и минерально-сырьевое. Отмечается значительный резерв освоения месторождений.

2. Проведенное сравнение Эссовского гидротермального месторождения с Белокурихинским показывает условную бальнеологическую аналогию, так как имеется схожесть по составу основных элементов, при этом концентрация полезных компонентов Эссовского месторождения выше, что позволяет спрогнозировать показания к бальнеологическому использованию и методы лечения по аналогии с курортом «Белокуриха». Вместе с тем наличие бора и мышьяка в водах Эссовского гидротермального месторождения расширяет направления бальнеологического использования.

3. Наличие радона на Эссовском гидротермальном месторождении и специфических бальнеологических компонентов способствует комплексному оздоровительному воздействию на организм человека.

4. С целью рационального использования ресурса возможно комплексное использование гидротермальных месторождений для строительства ЛРЗ, объектов по извлечению минеральных компонентов из термальной воды и попутных газов. Предлагаемая схема, помимо рационального комплексного использования гидротермального ресурса, позволяет снизить вредное экологическое воздействие геотермальных месторождений на окружающую среду и увеличить использование потенциала гидротермальных месторождений Камчатки до 85 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Lund JW, Toth AN. Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*. 2020;90,101915. doi: 10.1016/j.geothermics.2020.101915.
2. Фомин СЮ, Кудряшов ВА. Роль геотермального теплоснабжения в энергетике Камчатского края. *Использование и охрана природных ресурсов в России*. 2022;3(171):16-24.
- Fomin SYu, Kudryashov VA. The role of geothermal heat supply in the energy sector of the Kamchatka Territory. *Use and protection of natural resources in Russia*. 2022;3(171):16-24 (In Russ.).
3. Никитин АВ, Кудряшов ВА. Роль геотермального ресурса в электроэнергетике Камчатского края. *Рациональное освоение недр*. 2022;5(67):24-35.
- Nikitin AV, Kudryashov VA. The role of a geothermal resource in the electric power industry Kamchatka Territory. *Rational development of mineral resources*. 2022;5(67):24-35. (In Russ.). doi: 10.26121/RON.2022.93.45.003.
4. Лодис ФА, Семенов ВИ. Камчатка – край лечебный. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. кн. изд-во, Камч. отд-ние;1993:150.
- Lodis FA, Semenov VI. Kamchatka is a curative region. *Petropavlovsk-Kamchatsky: Far Eastern Publishing House*, 1993:150. (In Russ.).
5. Манухин ЮФ, Петрович МА. Ресурсная база санаторно-курортного строительства в Камчатском крае: мат-лы Всерос. науч. конф. «100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908–1910 гг.». ИВиС ДВО РАН, 22–27 сентября 2008 г. Петропавловск-Камчатский, 2009:190-8.
- Manukhin YuF, Petrov MA. Resource base of sanatorium and resort construction in the Kamchatka Territory. Materials of the All-Russian scientific conference on September 22–27, 2008 «100th anniversary of the Kamchatka expedition of the Russian Geographical Society 1908–1910». IVis FEB RAS. *Petropavlovsk-Kamchatsky*, 2009:190-198. (In Russ.).
6. Локарев АВ, Степанова ЭФ, Огай МА и др. Возможность использования термальной воды Нижне-Паратунских источников Камчатки для создания лекарственных композиций фармацевтического и космецевтического назначения. *Фармацевтическое дело и технология лекарств*. 2020;(1).
- Lokarev AV, Stepanova EF, Ogai MA, et al. The possibility of using thermal water from the Nizhne-Paratunsky springs of Kamchatka to create pharmaceutical and cosmeceutical medicinal compositions. *Pharmaceutical business and drug technology*. 2020;(1). (In Russ.). doi: 10.33920/med-13-2001-07
7. Бугаев АВ, Растягаева НА, Ромаденкова НН и др. Результаты многолетнего биологического мониторинга тихоокеанских лососей рыбободных заводов Камчатского края. *Известия ТИНРО*. 2015;180:272-309.
- Bugaev AV, Rastyagaeva NA, Romadenkova NN, et al. Results of long-term biological monitoring of Pacific salmon from fish hatcheries in the Kamchatka Territory. *Tidings TINRO*. 2015;180:272-309. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-mnogoletnego-biologicheskogo-monitoringa-tihookeanskikh-lososy-rybovodnyh-zavodov-kamchatskogo-kрая>.
8. Горбач ВА. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области извлечения химических соединений из геотермальных растворов. *ГИАБ*. 2013;9:270-4.
- Gorbach VA. Analysis of world experience and scientific and technical developments in the field of extraction of chemical compounds from

geothermal solutions. *GIAB*. 2013;9:270-4. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-opyta-i-nauchno-tehnicheskikh-razrabotok-v-oblasti-izvlecheniya-himicheskikh-soedineniy-iz-geotermalnyh-rastvorov>.

9. Кирюхин АВ, Сугробов ВМ. Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения. *Вулканология и сейсмология*. 2019(6):50-65.

Kiryukhin AV, Sugrobov VM. Geothermal resources of Kamchatka and the immediate prospects for their development. *Volcanology and seismology*. 2019;6:50-65. (In Russ.). doi: 10.31857/S0203-03062019650-65

10. Кудряшов ВА. Повышение эффективности эксплуатации геотермальных месторождений с использованием теплонасосных установок. *Успехи современного естествознания*. 2022(8):120-6.

Kudryashov VA. Improving the efficiency of exploitation of geothermal deposits using heat pump installations. *Successes of modern natural science*. 2022;8:120-6. (In Russ.).

11. Lo YC, Cheng CL, Han YL, et al. Recovery of high-value metals from geothermal sites by biosorption and bioaccumulation. *Bioresour Technol*. 2014; 160:182-90. doi: 10.1016/j.biortech.2014.02.008.

12. Попов ГВ. Комплексное использование отработанных геотермальных растворов Камчатского края. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;60:135-40.

Popov GV. Integrated use of spent geothermal solutions of the Kamchatka Territory. *Mining information and analytical bulletin*. 2018;60:135-140. (In Russ.). doi: 10.25018/0236-1493-2018-12-60-135-140.

13. Пашкевич РИ, Иодис ВА. Комплексное освоение запасов подземных углекислых вод и геотермальных ресурсов: углекислотно-геотермальные энерготехнологические комплексы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;59:150-6.

Pashkevich RI, Iodis VA. Complex development of underground carbon dioxide reserves and geothermal resources: carbon dioxide-geothermal energy technology complexes. *Mining information and analytical bulletin*. 2018;59:150-6. (In Russ.). doi: 10.25018/0236-1493-2018-12-59-150-156.

14. Пестерева НМ, Хечумян АФ, Ворожбит НА. Комплексная биоклиматическая оценка комфортности территорий Дальнего Востока России для зимней рекреации и лечебно-оздоровительного туризма. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2018;95(2):37-42.

Pestereva NM, Khechumyan AF, Vorozhbit NA. Complex bioclimatic assessment of the comfort of the territories of the Russian Far East for winter recreation and health tourism. *Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical education*. 2018;95(2); 37-42. (In Russ.).

15. Богданович КИ. Очерк деятельности Охотско-Камчатской горной экспедиции 1895–98. *Известия Географического общества*. 1899;XXXV(VI):549-600.

Bogdanovich KI. An outline of the activities of the Okhotsk-Kamchatka mining expedition 1895-98. *Tidings of the Geographical Society*. 1899;XXXV(VI):549-600. (In Russ.).

16. Пийп БИ. Термальные ключи Камчатки / Отв. ред. А. В. Заварицкий. М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1937:268.

Piip BI. Thermal springs of Kamchatka. Ed. Zavaritsky A.N. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1937:268. (In Russ.).

17. Логинов А А. Белокурихинское месторождение радоносодержащих кремнистых термальных вод. *Недропользование XXI век*. 2022;6(98):32-9.

Loginov AA. Belokurikha deposit of radon-containing siliceous thermal waters. *Subsoil use XXI century*. 2022; 6(98):32-9. (In Russ.).

18. Джабарова НК, Яковенко ЭС, Сидорина НГ и др. Перспективы развития Белокурихинской курортной зоны Алтайского края. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2016;2:43-7.

Dzhabarova NK, Yakovenko ES, Sidorina NG, et al. Prospects for the development of the Belokurikha resort area of the Altai Territory. *Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture*. 2016; 2:43-7. (In Russ.). doi: 10.17116/kurort2016243-47.

20. Хвашевская АА, Копылова ДА, Новиков ДА и др. Изотопно-гидрогеохимическая характеристика радоновых вод Белокурихинского месторождения. *Науки о Земле и недропользование*. 2021;44(2):174-83.

Khvashchevskaya AA, Kopylova YuG, Novikov DA, et al. Isotope-hydrogeochemical characteristics of radon waters of the Belokurikha deposit. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2021;44(2):174-83 (In Russ.). doi: 10.21285/2686-9993-2021-44-2-174-183.

21. Кудряшов ВА. Оценка наличия радона в скважинах Эссовского геотермального месторождения (с. Эссо) Быстринского района Камчатского края. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;12:22-43.

Kudryashov VA. Assessment of the presence of radon in wells of the Essovsky geothermal field (Esso village) Bystrinsky district of the Kamchatka Territory. *Mining information and analytical bulletin*. 2023;12:22-43. (In Russ.). doi: 10.25018/0236_1493_2023_12_17_22.

22. Самосюк ИЗ, Федоров СН, Думин ПВ. Радонотерапия: проблемы и перспективы. *Український медичний часопис*. 2000;2:119-23.

Samosyuk IZ, Fedorov SN, Dumin PV. Radon therapy: problems and prospects. *Ukrainian medical journal*. 2000;2:119-23 (In Russ.).

23. Pizzorno L. Nothing Boring About Boron. *Integr. Med. (Encinitas)*. 2015;14(4):35-48.

24. Мурадов С.В. Особенности формирования и экологического состояния биологических ресурсов иловой сульфидной лечебной грязи в условиях активного вулканизма на Камчатке: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2017:48.

Muradov SV. Features of formation and ecological state of biological resources of silt sulfide therapeutic mud in conditions of active volcanism in Kamchatka: abstract. doct. diss. Moscow, 2017: 48. (In Russ.).

25. Чумак КА, Решетникова ЮА, Дудолодов АО. Альгинаты кальция, модифицированные углеродными нанотрубками для адсорбционного извлечения аргона из газовых смесей. *Успехи в химии и химической технологии*. 2018;3(199).

Chumak KA, Reshetnikova YuA, Dudoladov AO. Calcium alginates modified with carbon nanotubes for adsorption extraction of argon from gas mixtures Advances in chemistry and chemical technology. 2018;3(199). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/alginaty-kaltsiya-modifitsirovannye-uglerodnymi-nanotrubkami-dlya-adsorbtsionnogo-izvlecheniya-argona-iz-gazovyh-smesey> (дата обращения: 21.11.2024).

26. Wang X, Shan M, Liu X, et al. High-Performance Polybenzimidazole Membranes for Helium Extraction from Natural Gas. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2019;11(22):20098-20103. doi: 10.1021/acsami.9b05548.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Владимир Алексеевич Кудряшов –
кандидат технических наук, ведущий инженер
научно-исследовательского отдела Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
«Научно-исследовательский геотехнологический центр»
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(НИИГТЦ ДВО РАН), 683002, г. Петропавловск-Камчатский,
Камчатский край, Российская Федерация,
e-mail: nigtc@nigtc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.12.2024.

Поступила после рецензирования: 26.12.2024.

Принята к публикации: 15.01.2025.

Article info

Received: 19.12.2024.

Revised: 26.12.2024.

Accepted: 15.01.2025.

ABOUT THE AUTHOR

Vladimir A. Kudryashov –
Candidate of Engineering Sciences, Leading Engineer of the
Research Department FGBUN Research Geotechnological
Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
(RGTC FEB RAS), 683002, Petropavlovsk-Kamchatsky,
Kamchatsky Krai, Russian Federation, e-mail: nigtc@nigtc.ru

А. И. Косолапов, В. Е. Кисляков, А. С. Федотов[✉], А. В. Шварцкопф
*ФГАОУВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, 660041,
Российская Федерация
✉ ar.fedotov@yandex.ru*

Аннотация. Приведены результаты анализа условий разработки Бейского месторождения каменного угля, изучены особенности ведения горных работ при наличии смежных лицензий других недропользователей, оценена применяемая при этом технология. На основе перечисленного сформулированы наиболее существенные технологические и экологические проблемы, влияющие на эффективность разработки месторождения и предложены методы их решения. Представлен анализ результатов реализации проектных решений по разработке месторождения и обобщение опыта их применения. В процессе обобщения опыта совместной разработки отдельных участков месторождения определены следующие проблемы: сложность вскрытия отдельных участков месторождения и доработки целиков между ними; отсутствие свободных площадей вблизи разрезов и ограничения использования выработанного пространства для складирования вскрышных пород. Кроме того, осушение месторождения в определенных условиях может приводить к обезвоживанию открытых водоемов вблизи карьерных полей. Решение этих проблем позволит сократить издержки на горные работы и охрану окружающей среды, снизить техногенную нагрузку на нее и повысить полную выемку запасов.

Ключевые слова: уголь, угольные разрезы, Минусинский угольный бассейн, Бейское месторождение, вскрытие, потери полезного ископаемого, осушение, отвалообразование

Для цитирования: Косолапов АИ, Кисляков ВЕ, Федотов АС и др. Условия и проблемы разработки Бейского месторождения каменного угля. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):25-29. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-25-29>.

A. I. Kosolapov, V. E. Kislyakov, A. S. Fedotov[✉], A. V. Shwartzkopf
*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University»,
Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
✉ ar.fedotov@yandex.ru*

Abstract. The main objectives of modern open-pit mining technology are: minimization of negative impact on the environment, increase in safety level of production facilities and completeness of reserves extraction from the subsoil, as well as reduction of economic costs during mining operations. The article presents the results of analysis of conditions of development of Beyskoye coal deposit, studies features of mining operations in the presence of related licenses of other subsoil users, evaluates the technology applied in this case. Based on the above, the most significant technological and environmental problems influencing efficiency of deposit development are formulated and methods for their solution are proposed. The work presents analysis of results of implementation of design solutions for deposit development and generalization of experience of their application. In the process of generalization of experience of joint development of individual sections of the deposit, the following problems were identified: complexity of opening of individual sections of the deposit and finishing of pillars between them; lack of free areas near open pits and limitations of use of developed space for storage of overburden rocks; Under certain conditions, draining of the deposit may lead to dehydration of open water bodies near quarry fields. Solving these problems will reduce the costs of mining operations and environmental protection, reduce the man-made load on it and increase the completeness of the extraction of reserves.

Keywords: coal, open-pit coal mines, Minusinsk coal basin, Beyskoye coal deposit, opening, mineral losses, drainage, waste dumping

For citation: Kosolapov AI, Kislyakov VE, Fedotov AS, et al. Conditions and problems of developing the beysky coal deposit. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):25-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-25-29>.

Введение

Бейское месторождение расположено в Республике Хакасия, вблизи городов Абакана (60 км), Минусинска (90 км), Саяногорска (35 км) и Черногорска (85 км).

Район экономически и промышленно развит [1, с. 175]. Большую долю в экономике района занимает угледобывающая отрасль. Железная и автомобильная дороги обеспечивают связь с промышленными районами Сибири. Железнодорожные ветви имеют связь посредством Транссибирской магистрали с Кузбассом, Забайкальем и Дальним Востоком.

На Бейском месторождении активно ведут добычу угля открытым способом. Оно разделено на семь участков, имеющих смежные границы (рис. 1). Участки принадлежат разным недропользователям, которые ведут их независимое освоение в соответствии с лицензиями.

В 2022 году в Минусинском угольном бассейне было добыто 26,8 млн т, что составило 11 % от общего объема угля (437 млн т.), добытого в РФ [2].

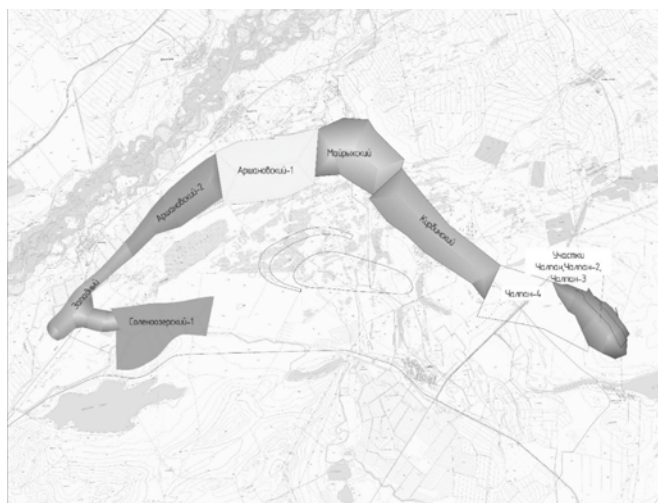


Рис. 1.
Fig. 1. «

Горно-геологические условия разработки

Месторождение представлено пачками пластов, имеющих слабонаклонное, наклонное и крутое падение при значительной вариации мощности отдельных пластов и изменчивости зольности углей от 6 до 35 %. Месторождение обводнено, а для выемки угля его необходимо дробить буровзрывным способом.

Наиболее полно проблемы, перечисленные выше, характерны для Майрыхского, Кирбинского и участка Чалпан.

На большей части площади участка гравийно-галечниковая толща перекрывается суглинками и супесями с дресвой и галькой, на площади озер – озерными илами. Коренными породами являются угленосные отложения Черногорской свиты (верхняя пачка) и Побережной свиты.

На участках Майрыхском и Кирбинском строение пластов в большинстве своем сложное, редко – простое. Углы падения пластов, где произведено вскрытие, в среднем составляют 8–12° и увеличиваются до 40° на противоположном фланге мульды [3]. В большинстве случаев мощность междупластий составляет от 1 до 10 метров, а местами достигает 40 метров.

Участок Чалпан представляет собой многопластовую осадочную толщу, включающую 16 пластов мощностью от

0,1 до 11,45 м. Глубина залегания пластов изменяется в интервалах от 3 до 190 м. Угольные пласты относительно выдержанные и невыдержанные. Часть пластов имеет площади слияния с соседними пластами, и в таком случае они выделены как единая выемочная единица.

В процессе проектирования для участков Майрыхского и Кирбинского было условно выделено две группы пластов: верхняя группа пластов (ВГП) и нижняя группа пластов (НГП), разделенных междупластьем со средней мощностью 65 м.

Характерные геологические разрезы по участкам представлены на рисунке 2.

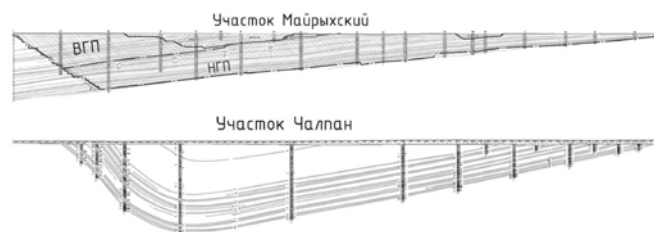


Рис. 2

Fig. 2.

Мощность пластов участков изменчива. По каждой из групп пластов выделены наиболее мощные пласты, на которых сконцентрирован основной объем работ. Суммарная мощность по верхней и нижней группе пластов соответственно превышает 40 и 20 метров.

Зольность по пластам варьируется в диапазоне от 5 до 35 %. При этом большая часть пластопересечений имеет зольность от 5 до 25 %.

Учитывая мощность междупластья, разделяющую пласты, выделены две группы пластов, которые разрабатывают разными рабочими зонами с перспективой объединения их в одну.

На участке Чалпан мощность пластов распределена следующим образом: мощность более 2 м встречается в 55 % пластопересечений; мощность от 1 до 2 м – 17,8 % пластопересечений; мощность до 1 м – 26,3 % пластопересечений.

Зольность по опробованным пластопересечениям не превышает 35 %.

Существующая технология и порядок разработки

В настоящее время поля участков вскрыты для открытого способа разработки с использованием транспортной (участки Майрыхский и Кирбинский) и комбинированной (участок Чалпан) системы разработки, согласно классификации Н. В. Мельникова [4, с. 22], а по В. В. Ржевскому, применяемая система разработки классифицирована как сплошная [5, с. 109].

На участках Майрыхском и Кирбинском работы ведут гидравлическими экскаваторами с погрузкой в автосамосвалы различной грузоподъемности. Большую часть вскрышных пород складывают на внешних отвалах несмотря на то, что уже есть возможность использовать выработанное пространство.

Участок Чалпан разрабатывают по комбинированной системе разработки. Добычные работы ведут гидравлическими экскаваторами с объемом ковша от 4 м³ с погрузкой в автосамосвалы для транспортирования угля до перегрузочного

обходимость осушения озер для разработки запасов и расположения отвалов вскрышных пород негативно влияет на водный баланс района. Во избежание этого необходимы мероприятия по искусственной подпитке озер и использованию гидроизолирующих завес или барражей.

4. При делении месторождения на участки на их границах остаются целики угля, которые в силу определенных

ограничений очень сложно доработать. Это предопределяет потери запасов, которые составляют десятки миллионов тонн кондиционного угля. Для их разработки необходимо разрабатывать проектные решения, учитывающие особенности строения и конфигурацию межкарьерных (пограничных) целиков и проектные решения при освоении основной части месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Угольная база России. Т. III: Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (Красноярский край, Канско-Ачинский бассейн; Республика Хакасия, Минусинский бассейн; Республика Тыва, Улугхемский бассейн и др. месторождения; Иркутская область, Иркутский бассейн и угольные месторождения Предбайкалья). Москва, 2002: 488.
The coal base of Russia. Vol. III: Coal basins and deposits of Eastern Siberia (Krasnoyarsk Territory, Kansk-Achinsk basin; Republic of Khakassia, Minusinsk basin; Republic of Tyva, Ulughkem basin and other deposits; Irkutsk Region, Irkutsk basin and coal deposits of Cis-Baikal region). Moscow, 2002: 488.
2. Петренко ИЕ. Итоги работы угольной промышленности России за 2022 год. *Уголь*. 2023;3:21-33.
Petrenko IE. Results of the coal industry of Russia for 2022. *Coal*. 2023;3:21-33. (In Russ.). doi: 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33.
3. Барский АА, Косолапов АИ, Аверьянов АГ и др. История и условия разработки основных месторождения каменного угля Минусинского угольного бассейна. *Известия УГТУ*. 2021;3(63):96-106.
Barsky AA, Kosolapov AI, Averyanov AG, et al. History and conditions for the development of the main coal deposits of the Minusinsk coal basin. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2021;3(63):96-106. (In Russ.).
4. Мельников НВ. Краткий справочник по открытым горным работам. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Недра, 1982:414.
Melnikov NV. Brief Handbook of Opencast Mining, 4th ed., revised and enlarged. Moscow, 1982: 414. (In Russ.).
5. Трубецкой КН, Потапов МГ, Виницкий КЕ и др. Открытые горные работы: справочник. Москва: Горное бюро, 1994: 590.
Trubetskoyn KN, Potapov MG, Vinitsky KE, et al., Handbook. Opencast Mining: Moscow, 1994: 590 p. (In Russ.).
6. Мельников НВ, Воронина ЛД, Демидюк ГП. Горное дело: терминологический словарь. Москва: Недра, 1974: 528.
Melnikov NV, Voronina LD, Demidyuk GP. Mining: Terminological Dictionary. Moscow, 1974: 528 p. (In Russ.).
7. Das R, Topal E, Elham Mardaneh E. A review of open pit mine and waste dump schedule planning. *Resources Policy*. 2023;85:366-72. doi: 10.1016/j.resourpol.2023.104064.
8. Левченко ЯВ, Ворошилин КС, Казаков ВА и др. Формирование контуров открытых горных работ на угольных месторождениях, представленных свитами пластов. *Уголь*. 2019;5:43-7.
Levchenko YaV, Voroshilin KS, Kazakov VA, et al. Formation of open pit mining contours at coal deposits represented by seam suites. *Coal*. 2019;5:43-7. (In Russ.). doi: 10.18796/0041-5790-2019-5-43-47.
9. Ромашкин ЮВ. Доработка запасов карьерных полей угольных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;10:70-4.
Romashkin YuV. Processing of quarry reserves of coal deposits. *Mining information and analytical bulletin*. 2012;10:70-4. (In Russ.).
10. Садов ДВ, Дубина ЕМ. Технология доработки угля с борта разреза: сб. тр. VII Межд. науч.-практ. конф. Москва, 2020: 127-32.
Sadow DV, Dubina EM. Technology of coal processing from the side of the open pit. *Collection of works of the VII International scientific and practical conference*. Moscow, 2020: 127-32. (In Russ.).
11. Xiaochuan Xu, Xiaowei Gu, Qing Wang, et al. Ultimate pit optimization with environmental problem for open-pit coal mine. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023;173:366-72. doi: 10.1016/j.psep.2023.03.024.
12. Баязин ИВ. Анализ динамики разработки Бейского угольного месторождения в Койбальской степи (Республика Хакасия) с применением дистанционных методов исследования. *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. 2020;3-15.
Balyazin IV. Analysis of the dynamics of development of the Beyskoye coal deposit in the Koibalskaya steppe (Republic of Khakassia) using remote sensing methods. *Bulletin of Irkutsk State University*. 2020:3-15. (In Russ.). doi: 10.26516/2073-3402.2020.31.3.
13. Баязин ИВ. Влияние угледобывающей промышленности на экологическое состояние Койбальской степи. *Географические исследования Азиатской России и сопредельных территорий: новые методы и подходы: мат.-лы Межд. конф., посв. 70-летию географического факультета ИГУ, Иркутск, 1-3 октября 2019 года*. Иркутск, 2019: 28-32. Balyazin IV. The impact of the coal mining industry on the ecological state of the Koibal steppe. *Geographical studies of Asian Russia and adjacent territories: new methods and approaches: Proceedings of the International Conference dedicated to the 70th anniversary of the Faculty of Geography of Irkutsk State University, Irkutsk, October 1-3, 2019*. Irkutsk, 2019:28-32. (In Russ.).
14. Ryan C. Goodfellow, Roussos Dimitrakopoulos. Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty. *Applied Soft Computing*. 2016;40:292-304. doi: 10.1016/j.asoc.2015.11.038.
15. Cohen MW, Coelho VN. Open-Pit Mining Operational Planning using Multi Agent Systems. *Procedia Computer Science*. 2021;192:1677-86. doi: 10.1016/j.endm.2012.10.031.
16. Liu G, Guo W, Chai S, et al. Research on production capacity planning method of open-pit coal mine. *Sci. Rep*. 2023;13:8676. doi: 10.1038/s41598-023-35967-y.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Иннокентьевич Косолапов –

д-р техн. наук, профессор кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация, e-mail: kosolapov1953@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8251-9679>

Виктор Евгеньевич Кисляков –

д-р техн. наук, профессор кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация

Артём Сергеевич Федотов –

аспирант кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация, e-mail: ar.fedotow@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9552-2956>

Андрей Валериевич Шварцкопф –

аспирант кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского Федерального университета, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация

Критерии авторства / Contribution:

А. И. Косолапов – генерация идеи, постановка задачи исследования; **В. Е. Кисляков** – редакция текста рукописи; **А. С. Федотов** – оформление рукописи, анализ исходных данных исследования; **А. В. Шварцкопф** – сбор данных для исследования, анализ полученной информации, формулирование выводов / **A. I. Kosolapov** – idea generation, research problem statement; **V. E. Kislyakov** – manuscript text editing; **A. S. Fedotov** – manuscript design, analysis of initial research data; **A. V. Schwarzkopf** – research data collection, analysis of obtained information, formulation of conclusions.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.11.2024.

Поступила после рецензирования: 14.01.2025.

Принята к публикации: 15.01.2025.

Article info

Received: 18.11.2024.

Revised: 14.01.2025.

Accepted: 15.01.2025.

ABOUT THE AUTHORS

Alexander I. Kosolapov –

DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: akosolapov@sfu-kras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8251-9679>

Viktor E. Kislyakov –

Dr. Sci., Professor of the Open-pit Mining Department of the Institute of Non-Ferrous Metals of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Artem S. Fedotov –

PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: ar.fedotow@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9552-2956>

Andrey V. Schwarzkopf –

PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

В. М. Кузнецов¹, В. П. Спиридонов^{2✉}, В. В. Спиридонова³

¹ООО «Группа компаний «ИнтеллектСервис», 115088, г. Москва, Российская Федерация

²Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий,

129366, г. Москва, Российская Федерация

³ВНИИГеосистем ФГБУ «ВНИГНИ», 105118, г. Москва, Российская Федерация

✉ svp-vak@mail.ru

Аннотация. Во второй части¹ приведены возможности использования атомных станций малой мощности при освоении горнорудных месторождений Монголии. Показано, что Монголия располагает значительными запасами природных ресурсов (в том числе урана), позволяющими создать новые предприятия или значительно увеличить объемы производства на уже действующих. Исследован вопрос перспективы развития атомных электростанций малой мощности (АСММ) как важное технологическое направление в экономике Монголии. Установлено, что препятствуют реализации этого потенциала отсутствие достоверной информации о количестве в рудах и концентратах известных месторождений попутных критических металлов, технологические вопросы извлечения и низкая рентабельность производства. В силу территориальной изолированности Монголии между Россией и Китаем, сложных климатических и географических условий, низкой освоенности населением территории и ресурсов страны скорость ее экономического развития имеет невысокие темпы. Определено, что для энергоснабжения и освоения горнорудных предприятий Монголии предлагается использовать атомную электростанцию малой мощности на базе ядерного реактора РИТМ-200Н. Преимущества АСММ для района размещения в Монголии – это высокий коэффициент установленной мощности (КИУМ); снижение выбросов CO₂ при замещении тепловых электростанций; меньший объем финансирования; модульность и массовость производства; снижение удельных капиталовложений и эксплуатационных затрат, а также более быстрое технологическое обучение; повышение конкурентоспособности АСММ.

Ключевые слова: горнорудная промышленность Монголии, энергетика, атомная электростанция малой мощности, ядерный реактор РИТМ-200Н, радиационная и экологическая безопасность, радиоактивные отходы, проектные и запроектные аварии

Благодарность: Исследования проводились с использованием ресурсов Ростехнадзора России.

Для цитирования: Кузнецов ВМ, Спиридонов ВП, Спиридонова ВВ. Перспективы использования атомных станций малой мощности на базе ядерного реактора Ритм-200Н при освоении горнорудных предприятий Монголии: Часть 2: Безопасность прототипа реакторной установки КЛТ-40С. Характеристики РИТМ-200Н. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 30-44. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-30-44>.

¹Кузнецов ВМ, Спиридонов ВП, Копылов АА, Спиридонова ВВ. Перспективы использования атомных станций малой мощности на базе ядерного реактора РИТМ-200Н при освоении горнорудных предприятий Монголии (Часть 1. Энергетика и георесурсы Монголии). *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;6(134):110-18.

V. M. Kuznetsov¹, V. P. Spiridonov^{2✉}, V. V. Spiridonova³

¹LLC «Group of companies Intellectualservice», 115088, Moscow, Russian Federation

²Academy of the State Fire Service Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 129366, Moscow, Russian Federation

³VNIIGeosystem FSBI «VNIGNI», 105118, Moscow, Russian Federation

✉ svp-vak@mail.ru

Abstract. The article presents the possibilities of using low-power nuclear power plants in the development of mining deposits in Mongolia. It is shown that Mongolia has significant reserves of natural resources, including uranium, which makes it possible to create new enterprises or significantly increase production volumes at existing ones. The issue of prospects for the development of low-power nuclear power plants (ASMM) as an important technological direction in the economy of Mongolia is investigated. It has been established that the lack of reliable information on the amount of associated critical metals in ores and concentrates of known deposits, technological issues of extraction and low profitability of production hinder the realization of this potential. Due to Mongolia's territorial isolation between Russia and China, difficult climatic and geographical conditions, and low population development of the country's territory and resources, the speed of its economic development is low. It is determined that it is proposed to use a low-power nuclear power plant based on the RITM-200N nuclear reactor for energy supply and development of mining enterprises in Mongolia. The advantages of ASMM for the location area in Mongolia are a high installed capacity coefficient (KIUM); reduction of CO₂ emissions when replacing thermal power plants; less financing; modularity and mass production; reduction of specific capital investments and operating costs, as well as faster technological training; increased competitiveness of ASMM.

Keywords: Mongolia's mining industry, energy, low-power nuclear power plant, RITM-200N nuclear reactor, radiation and environmental safety, radioactive waste, design and beyond-design accidents

Gratitude: The research was carried out using the resources of Rostekhnadzor of Russia.

For citation: Kuznetsov VM, Spiridonov VP, Spiridonova VV. Prospects of use low-power nuclear power plants based on the RITM-200N nuclear reactor in the development of mining enterprises in Mongolia: Part 2: Safety of the prototype of the KLT-40S reactor plant. Characteristics of the Rhythm-200N. *Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):30-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-30-44>.

Введение

Монголия располагает значительными запасами ресурсов, которые имеют ценность для производства высокотехнологичных изделий. Доля горно-металлургического сектора Монголии в общем ВВП развивающихся стран в период с 2017 по 2020 год составила 17,2 % преимущественно благодаря медно-молибденовой, полиметаллической и золотодобывающей промышленности [1–2]. Горнодобывающая отрасль является основным сектором экономики Монголии, вклад которого составляет 72 % в промышленном производстве, 87 % – в экспорте, 75 % – в прямых иностранных инвестициях (ПИИ) и 25 % – в общем внутреннем валовом продукте (ВВП). Общие запасы редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) оцениваются примерно в 3,1 млн т [2]. Экономический рост в Монголии в 2023 году достиг 6,8 %, преимущественно за счет развития горнодобывающей отрасли и сектора услуг. Азиатский банк развития прогнозировал рост экономики Монголии в 2024 году на 4,1 %, в 2025 году – на 6 % за счет увеличения добычи ископаемых [3].

В условиях усиливающейся глобальной конкуренции за энергетические ресурсы поиск надежных партнеров становится актуальной задачей внешней политики России. Особый

интерес представляет укрепление отношений с соседними странами. Активизация межправительственных отношений по торгово-экономическому, научно-техническому сотрудничеству и компаний обеих стран свидетельствует о том, что реализация совместных проектов в сфере энергетики будет способствовать укреплению энергетической безопасности как России, так и Монголии [3, 4, 5–10].

В течение ближайших 20 лет, по прогнозам МАГАТЭ, ожидается увеличение спроса на энергию до двух раз. При этом с точки зрения все ухудшающейся экологии преимущества атомных электростанций очевидны. А для стран, не имеющих собственных запасов органического топлива, развитие атомной энергетики является единственным выходом. Уран гораздо проще транспортируется и расходы на получение электроэнергии из урана в 4–6 раз дешевле, чем из угля или газа. Сегодня уран превратился в стратегический продукт глобальной экономики, а на долю урана приходится выработка более 15 % электроэнергии в мире. Преодоление растущего глобального дефицита энергии напрямую зависит от развития атомной энергетики во всем мире [1–12].

Под эволюцией ядерных реакторных установок понимается непрерывный процесс совершенствования конструкции,

технологии изготовления, применяемых материалов и эксплуатационных характеристик реакторной установки (РУ), основанный на сборе и анализе работы оборудования и систем на протяжении всего жизненного цикла. Как пример – плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС), кроме электрической, вырабатывает тепловую энергию, что предопределило ее размещение в непосредственной близости от потребителей и повышенные требования к безопасности станции.

Основной целью мер по радиационной безопасности является защита окружающей среды и населения в любой ситуации независимо от тяжести инцидентов, главная задача в опасной ситуации – остановка реакции деления, а также теплоотвод от активной зоны. Для решения этой задачи предусмотрен комплекс систем безопасности. Основа безопасности ПАТЭС на базе КЛТ-40С – внутренне присущая самозащищенность, которая сочетается с глубоким эшелонированием функциональной и физической защиты, основанной на рациональном сочетании активных и пассивных систем. Физические свойства активной зоны позволяют обеспечить саморегулирование мощности в зависимости от интенсивности теплосъема без вмешательства органов регулирования, осуществить самоглушение и самоограничение мощности без использования аварийной защиты. Благодаря гидравлическим характеристикам и выбранной компоновке реакторного блока охлаждение активной зоны ни при каких условиях не прекращается, поскольку обеспечена естественная циркуляция теплоносителя в системе первого контура – пассивный теплосъем в аварийных режимах.

КЛТ-40С располагает многократно резервированными активными и пассивными защитными системами, которые построены с учетом принципа разнообразия конструкций и механизмов действия. Пассивные системы безопасности функционируют в результате естественных законов (гравитации, конденсации, конвекции) без потребления электроэнергии и воды извне и вмешательства персонала. Для повышения эффективности действия систем безопасности и предохранения установки от ошибок персонала, функциональных отказов в элементах управления широко использованы неотключаемые самосрабатывающие устройства ввода защитных систем в действие, минуя традиционные электрические цепи автоматической защиты, непосредственно по первичному параметру: давлению в системе первого контура и защитной оболочке. В проекте ПАТЭС с КЛТ-40С имеется возможность управления запроектными авариями в течение длительного времени и самообеспечение безопасного состояния без вмешательства персонала, гарантируют значительный резерв времени, позволяющий персоналу управлять авариями.

Первый (после топливной композиции) барьер – оболочка твэлов – контролируется нормированием объемной активности теплоносителя первого контура, постоянно измеряемый средствами радиационного технологического контроля. Второй защитный барьер – система первого контура, герметичная при эксплуатации и защищенная от разрушения системами безопасности. Контроль герметичности всего тракта системы первого контура постоянно осуществляется также средствами радиационного технологического контроля. Степень негерметичности третьего защитного барьера – защитной оболочки – определяется утечкой паровоздушной среды при максимальной проектной аварии и не превышает 1 % объема в сутки. Четвертый защитный барьер – внешнее ограждение – окружает защитную оболочку и смежные с ней

помещения и герметичен по отношению к помещениям станции и окружающей среде. Защитное ограждение служит для отвода возможных утечек летучих радиоактивных веществ из расположенных внутри него помещений. Их удаление проводится через фильтры в атмосферу по каналам вентиляции с непрерывным контролем объемного и суммарного выброса радиоактивности.

В начале 2018 года было завершено строительство плавучего энергоблока «Академик Ломоносов», 2 ноября осуществлен физический пуск первого реактора, 28 июня 2019 года завершены приемо-сдаточные испытания в г. Мурманске, 23 августа – 9 сентября энергоблок отбуксирован из Мурманска в г. Певек, 22 мая 2020 года плавучая АТЭС введена в промышленную эксплуатацию [13–18].

Цель исследований: изучение возможности использования атомных станций малой мощности при освоении горно-рудных месторождений Монголии.

Методы исследований

Геологический мониторинг состояния территории. Комплексный анализ структуры энергопотребления в Монголии для строительства атомных станций малой мощности на базе РИТМ-200Н.

Результаты исследований

На сегодня направление АСММ является одним из главных в области ядерной энергетики России. Россия имеет большой опыт в разработке реакторов малой мощности для атомных ледоколов с общей наработкой более 400 реакторо-лет. Шесть реакторов РИТМ-200 эксплуатируются на атомных ледоколах «Арктика», «Сибирь» и «Урал». Реакторная установка (РУ) РИТМ-200 разработана на основе накопленного опыта проектирования, изготовления и эксплуатации судовых установок ОК-150, ОК-900, ОК-900А, КЛТ-40 и КЛТ-40С.

АСММ в Монголии планируется построить в районе города Нового Хархорума. Диапазон мощностей станции от 220 до 330 МВт соответствует 4–6 энергоблокам с российской РУ РИТМ-200Н, установленной электрической мощностью 55 МВт каждый.

Научные исследования показывают, что прежде, чем принимать решение о широкомасштабном применении проекта АСММ и об организации серийного выпуска соответствующего оборудования, проектно-конструкторским организациям необходимо провести следующие мероприятия:

- формирование детализированного по территории прогноза изменений объема и структуры спроса на электрическую и тепловую энергию на долгосрочную перспективу с учетом целей достижения углеродной нейтральности. Эти факторы в решающей степени определяются прогнозом развития экономики и учитывают тенденции замещения органического топлива электроэнергией на транспорте, в теплоснабжении и других секторах экономики;
- проведение оценки изменения спроса на электрическую и тепловую энергию в регионах с отсутствием доступа к системам централизованного электроснабжения;
- проведение прогнозирования технического прогресса в альтернативных технологиях производства электрической и тепловой энергии небольшой мощности, в том числе с использованием новых энергоносителей.

Атомная станция малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н (рис. 1) является инновационным объектом

использования атомной энергии, которая будет сооружаться впервые в Монголии.

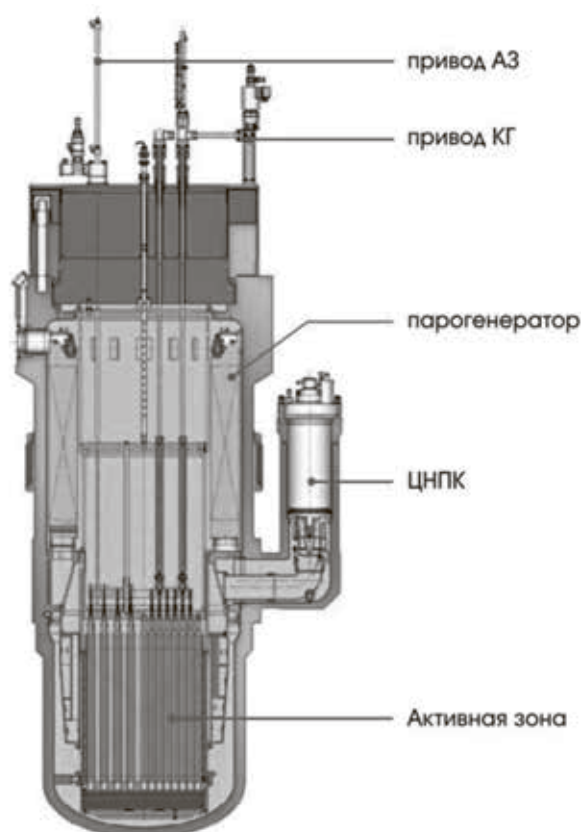


Рис. 1.
Fig. 1.

Основной особенностью АСММ является использование реакторной установки, спроектированной по федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, ее отличают компактность и модульность, сокращенный период сооружения и высокие стандарты безопасности.

Энергоблок АСММ является энергоблоком с установленной электрической мощностью не менее 55 МВт. Режим работы – базовый, маневренный. Назначенный срок службы реакторной установки – 60 лет. Назначенный срок службы корпуса реактора – 60 лет. Топливом является двуокись урана U-235 с обогащением не более 20 %. Перегрузка топлива производится один раз в пять лет при КИУМ более 90 %. При значениях КИУМ, меньших 90 %, перегрузка производится до достижения плановых показателей по выгоранию топлива с учетом сезонности и по согласованию с представителями системного оператора энергосистемы или ключевыми потребителями электроэнергии. Энергоблок включает реакторную установку с реактором типа РИТМ-200Н и турбоустановку, которая служит приводом генератора. Тепловая схема – двухконтурная [18].

С момента пуска станции (20.05.2020 г.) в г. Певек, на Чукотке, эксплуатируется АСММ с реакторными установками КЛТ-40С «Академик Ломоносов». Однако в настоящее время практически отсутствует информация об итогах ее работы. Отчеты о деятельности Ростехнадзора РФ отсутствуют (2022, 2023 гг.), а отчеты концерна «Росэнергоатом» не информативны.

Эксплуатационный персонал для работы на ПАТЭС был

набран с реакторов большой мощности канальных (РБМК) (чернобыльский тип реактора), который, по мнению авторов статьи, слабо представляет специфику судовых ядерных паро-производящих установок (ЯППУ). По логике, весь персонал станции должен пройти переподготовку по судовой тематике ЯППУ в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете или в филиале САФУ в «Севмашвтуз» в г. Северодвинске с обязательной практикой на АО ЦС «Звездочка» или АО «Севмаш».

После трех лет эксплуатации ПАТЭС вышли из строя два парогенератора (ПГ) на энергоблоке № 1 станции, а в 2024 году проведена замена еще двух ПГ на энергоблоке № 2¹. И это притом, что ПАТЭС за три года работала в щадящем режиме для оборудования, на низком уровне мощности – 20–30 % (электроэнергия не востребована для региона), имела крайне низкий КИУМ, а соответственно, и рентабельность. Активные зоны двух ядерных реакторов были выжжены, для чего потребовалась перегрузка ядерного топлива². Непонятно, как такое могло произойти, какое выгорание ядерного топлива было достигнуто?

Кроме этого, в чем причина такого раннего выхода из строя ПГ? Безграмотная эксплуатация (несоблюдение ВХР первого контура) или недостатки изготовления или конструирования? Негерметичность трубчатки как дефект проявляется с начала 2000-х годов, однако до сих пор не решен. Негерметичность отмечалась уже у АЛ «Ленин», то есть более 65 лет назад.

Знание этих недочетов в конструкции и эксплуатации ПАЭС необходимо для их устранения и проведения дальнейших научных исследований в этой области [18].

Основные преимущества атомных станций малой мощности

За счет высокого КИУМ происходит наибольшее снижение выбросов CO₂ при замещении тепловых электростанций. Также можно выделить меньший объем финансирования, более короткие сроки окупаемости, более низкие технологические риски при массовом производстве оборудования, проектировании и строительстве. АСММ лучше всего подходят для небольших энергосистем, где фактор дискретности мощности энергоблоков критичен для резервирования и планирования сетевых решений.

Внедрение АСММ как массовой энергетической технологии может стать важным технологическим направлением в электроэнергетике не только России, но и Монголии, дополняя крупноблочную ядерную энергетику. Рост удельных капиталовложений для блоков с реакторами малой мощности из-за эффекта масштаба может быть существенно снижен за счет модульности и массовости производства, упрощения технических и строительных решений, поточного строительства на одной площадке. Дополнительный эффект может быть достигнут при переходе к другим типам реакторов с более простой тепловой схемой, в том числе высокотемпературным и безводным. Модульность и массовость производства – важные условия для более быстрого технологического обучения, а также снижения удельных капиталовложений и эксплуатационных затрат, повышения конкурентоспособности.

¹Заявленный ресурс ПГ должен составлять 100 тыс. ч.

²На 2014 год стоимость загрузки ядерного топлива оценивалась 1,1 млрд рублей. <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/11/22/140789>

сти АСММ. В периферийных энергосистемах Монголии с небольшой мощностью подойдут варианты многоблочной АСММ на одной площадке и территориально распределенных АСММ.

В составе главного корпуса (энергоблока) АСММ предусматривается следующее основное оборудование: одна реакторная установка РИТМ-200Н интегрального типа разработки АО «ОКБМ им. И. И. Африкантова»; одна (две) паровая турбина (уточняется на стадии разработки проектной документации). Реакторная установка РИТМ-200Н предназначена для использования в качестве основного источника пара в составе энергоблока АСММ. Проектом предусмотрен реактор интегральный с активной зоной, содержащей 199 ТВС. Тип реактора – водо-водяной под давлением, интегрального типа. Тип замедлителя/теплоносителя – вода высокой чистоты. Принцип обеспечения циркуляции теплоносителя: принудительная циркуляция по коллекторной схеме с применением ГЦН при нормальной работе РУ, режим работы РУ с реализацией естественной циркуляции теплоносителя может использоваться при аварийном расхолаживании. Схема АСММ с РУ РИТМ-200Н представлена на рисунке 2.

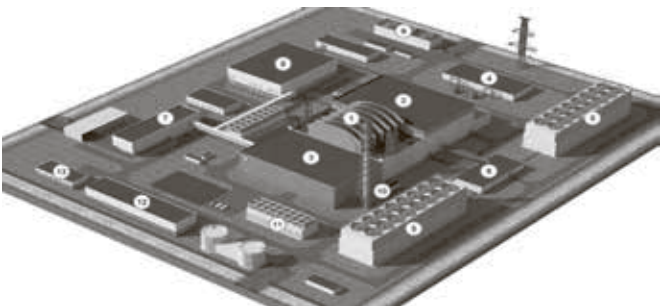


Рис. 2.

Fig. 2.



Тепловая схема энергоблока АСММ на базе РИТМ-200Н построена по моноблочному принципу 1 РУ + 1 ПТУ. Тепловая схема станции – двухконтурная.

Первый контур – радиоактивный. Он включает в себя реактор типа РИТМ-200Н и четыре циркуляционные петли охлаждения. Каждая петля включает главный циркуляционный насос, парогенератор и другое оборудование первого контура.

Второй контур – нерадиоактивный. Он включает в себя четыре парогенератора, паропроводы, паровую турбину, генератор, сепараторы-пароперегреватели, питательные насосы, трубопроводы, деаэраторы и регенеративные подогреватели. Парогенераторы являются общим оборудованием для первого и второго контуров. В них тепловая энергия, выработанная в реакторе, от первого контура через теплообменные трубы передается второму контуру.

Насыщенный пар, вырабатываемый в парогенераторах, по паропроводу поступает на турбину, которая приводит во вращение ротор генератора, вырабатывающего электрический ток. Охлаждение пара в конденсаторах турбины производится циркуляционной водой, подаваемой насосами, установленными на блочной насосной станции. Конденсат (охлажденный пар) с помощью питательного насоса подается в парогенераторы. И далее процесс повторяется в замкнутом цикле. Технические характеристики блока АСММ с реакторной установкой РИТМ-200Н приведены в таблице 1 [13–15].

Таблица 1 / Table 1

°	
« »°	
»°	
°	° °
Мощность, МВт	
°	
° °	
°	° °
°	
°	
μ	
° ° ° °	,
°	
°	
	,
°	
	,
	,

Перечень основного технологического оборудования реакторного и турбинного отделений с основными характеристиками представлен в таблице 2 [13–15].

Таблица 2 / Table 2

	°	»	°	«
			°	
			°	
°			°	,
°				
°				
			,	
°			,	

В соответствии с нормами и правилами в области использования атомной энергии в целях защиты населения в районе размещения АС устанавливаются особые территории: санитарно-защитная зона (СЗЗ) и зона наблюдения (ЗН). Величина СЗЗ и ЗН и планирование защитных мероприятий будут уточняться на последующих стадиях проектирования.

Оценка воздействия на окружающую среду.

Определение уровня загрязнения воздушного бассейна радиоактивными веществами

АСММ спроектирована таким образом, что радиационное воздействие на население и окружающую среду при нормальной длительной эксплуатации, предполагаемых эксплуатационных нарушениях и проектных авариях не приводит к превышению установленных доз облучения населения и ограничено при запроектных авариях. Радиационное воздействие на население и окружающую среду поддерживается ниже установленных нормативных пределов и на разумно достижимом низком уровне.

Целевыми ориентирами безопасности АЭС является не превышение:

- суммарной вероятности тяжелых аварий для каждого блока АЭС на интервале в один год, равной 10^{-5} ;
- суммарной вероятности большого аварийного выброса для каждого блока АЭС на интервале в один год, равной 10^{-7} ;
- суммарной вероятности тяжелых аварий для имеющих на АЭС хранилищ ядерного топлива (не входящих в состав блоков АЭС) на интервале в один год, равной 10^{-5} .

Ограничение радиационного воздействия на окружающую среду обеспечивается реализацией концепции глубоко эшелонированной защиты, основанной на создании системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите / сохранению их эффективности. При проектных авариях (ПА) ожидаемые эквивалентные дозы облучения критической группы населения на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами не должны превышать 5 мЗв на все тело и 50 мЗв на отдельные органы в начальном периоде

радиационной аварии (см. таблица 6.3 в «Нормах радиационной безопасности, НРБ-99/2009», уровень А) [19]. При запроектных и проектных авариях эквивалентные дозы облучения ограниченной части населения (критической группы) на границе зоны планирования защитных мероприятий (ЗПЗМ) и за ее пределами не должны превышать 5 мЗв на все тело и 50 мЗв на отдельные органы в начальном периоде радиационной аварии (см. таблица 6.3 в «Нормах радиационной безопасности», НРБ-99/2009), уровень А).

Для АСММ с РУ РИТМ-200Н предполагается установление следующих критериев при запроектных авариях:

- исключить необходимость введения как незамедлительных экстренных мер, включающих эвакуацию, так и длительное отселение людей за пределами промплощадки;
- расчетные границы зоны планирования экстренной эвакуации должны быть соизмеримы с границами промплощадки;
- границы зоны планирования обязательных защитных мероприятий для населения не должны выходить за границы санитарно-защитной зоны АСММ.

Указанные выше ограничения радиационного воздействия АСММ на население и окружающую среду приемлемы в соответствии с требованиями международной практики проектирования АЭС. При нормальной работе энергоблока основным источником поступления радионуклидов в окружающую среду является газоаэрозольный выброс (после предварительной обработки и снижения активности) через высотную вентиляционную трубу. Основными путями поступления газоаэрозольных радиоактивных веществ из реактора в системы обращения с ГРО являются: активация входящего в состав воздуха аргона в помещении РУ; отбор проб теплоносителя первого контура для контроля водно-химического режима первого контура; технологическая сдвух газов из реактора перед проведением перегрузки ОТВС; работы на открытом реакторе в период перегрузки ОТВС.

В результате активации входящего в состав воздуха Ar-40 в зазоре между реактором и кессоном реактора образуется радионуклид Ar-41. Объемная активность Ar-41 в реакторном помещении и его выход в окружающую среду зависит от конструктивной схемы и режима вентиляции реакторного помещения. Максимальный выход Ar-41 в окружающую среду происходит при организации приточно-вытяжной системы вентиляции и составит $2 \cdot 10^{11}$ Бк/год с одной РУ.

При нормальной эксплуатации (НЭ) выбросы РВ в атмосферу производятся через высотную вентиляционную трубу. Основной выброс РВ в атмосферу при нормальной эксплуатации определяется протечками защитного газа (ЗГ) в реакторное помещение (РП) и при утечке пара второго контура. Загрязненный воздух из РП сбрасывается в вентиляционную трубу после предварительной очистки. При эксплуатационных нарушениях на станции низкий уровень радиоактивных йодов и аэрозолей в газоаэрозольном вентиляционном выбросе поддерживается за счет эффективной фильтрации вытяжного воздуха из помещений ЗКД вспомогательных зданий и сооружений.

Дозовые нагрузки на население, обусловленные газоаэрозольными выбросами в условиях ННЭ, находятся на уровне пределов, регламентированных СП АС-03 для условий нормальной эксплуатации. Прогнозируемый уровень эффективной индивидуальной дозы лиц из населения составляет менее 10 % от предела дозы. Безопасность населения и окру-

жающей среды при ННЭ и авариях на АС надежно гарантирована для населения и окружающей среды в соответствии с требованиями российских и международных норм и правил.

Тепловое воздействие

Все системы охлаждения выполнены по оборотной схеме водоснабжения. В качестве охладителя в системах предусмотрены «сухие» градирни. Для восполнения потерь воды из оборотных систем охлаждения предусмотрена система добавочной воды. Система водоснабжения запроектирована с применением не прямой воздушно-конденсационной установки системы Геллера, где оборотная вода от поверхностного конденсатора паровой турбины охлаждается «сухой» градирней. «Сухая» градирня функционирует на принудительной тяге и состоит из нескольких секций. Сбросная теплота от конденсации пара передается промежуточному теплоносителю (циркуляционной воде), а нагретая вода направляется на «сухую» градирню. В градирне тепло передается из циркуляционной воды атмосферному воздуху через водо-воздушные теплообменники. Охлажденная в «сухой» градирне вода возвращается к конденсатору энергоблока через циркуляционный контур.

Климат площадки – холодный, но в то же время и резко континентальный, поэтому летом могут возникать высокие температуры воздуха (макс. +37 °C). Однако продолжительность высоких температур весьма невелика (температура воздуха обеспеченностью 0,98 составляет +25 °C), поэтому предусматривается работа «сухой» градирни круглогодично в исключительно сухом режиме. Благодаря такому решению происходит сбережение запаса пресной питьевой воды и полностью устраняются нагрузки на окружающую среду, связанные с применением испарительного охлаждения (выброс воды, растворенных веществ и химикатов, увлажнение и обледенение жилых домов, линии электропередачи и иных сооружений и т. п.) [13–15].

Обращение с радиоактивными отходами

При эксплуатации АСММ образуются жидкие, твердые и газообразные радиоактивные отходы (РАО). Радиоактивные отходы будут образовываться в процессе эксплуатации АСММ, при проведении планово-предупредительных ремонтов, а также в аварийных режимах и при ликвидации последствий аварий. В соответствии с действующими нормативными документами система обращения с РАО предусматривает необходимость выполнения следующих требований: сбора, переработки жидких (ЖРО) и твердых радиоактивных отходов (ТРО). Кондиционирование и временное контролируемое хранение должны осуществляться в пределах промышленных площадок, на которых они образуются. Для системы обращения с РАО на площадке АСММ планируются блоки для переработки и хранения радиоактивных отходов в составе здания спецкорпуса. Все РАО хранятся на территории АС в специальном помещении в здании спецкорпуса в контейнерах и бочках.

Безопасность персонала, населения и окружающей природной среды при кондиционировании и хранении РАО будет обеспечена за счет выполнения специальных мероприятий и технологий с применением системы барьеров на пути возможного распространения радиоактивных веществ в окружающую среду. Поэтому поступление радиоактивных веществ в окружающую среду при обращении с РАО при нор-

мальной эксплуатации исключено, а в случае возникновения аварийных ситуаций не будет превышать допустимых величин. Основными источниками образования радиоактивных веществ на станции являются продукты деления урана-235 при нейтронном облучении топлива активной зоны, активация нейтронами конструкционных материалов, примесей теплоносителя первого контура и воздуха в приреакторном пространстве. При эксплуатации АС образуются жидкие, твердые и газообразные радиоактивные отходы (РАО).

Жидкими РАО являются: концентраты солей (кубовый остаток), отработавшие сорбенты и пульпа фильтров первого контура, шламы и пульпы отработавших фильтрующих материалов, образующиеся в процессе переработки жидких радиоактивных сред (ЖРС) (трапных, контурных) и эксплуатации установок систем сбора и концентрирования ЖРО, а также возможные протечки от технологического оборудования. В соответствии с современными требованиями в проекте предусмотрены технологии и технические решения, обеспечивающие минимизацию объемов образующихся РАО. Отходы относятся к низко- и среднеактивным отходам в соответствии классификацией СП АС-03.

Твердыми РАО являются отработавшее технологическое оборудование и фильтры системы вентиляции, отработавшие шихты фильтров первого контура, инструмент, спецодежда, а также отвержденные жидкие радиоактивные среды. В проекте предусмотрены технологии и технические средства, обеспечивающие переработку, безопасное хранение и транспортировку твердых РАО. Образующиеся твердые РАО, за исключением внутриреакторных (категория высокоактивных отходов), относятся к низко- и среднеактивным отходам в соответствии с классификацией СП АС-03.

Газообразными РАО являются технологические газовые сдвухи из оборудования и баков, содержащих теплоноситель первого контура, газовые сдвухи баков вспомогательных систем, а также воздух систем вентиляции зоны контролируемого доступа.

Основным источником загрязнения воздуха помещений реакторного здания при нормальном режиме АЭС являются неорганизованные протечки теплоносителя первого контура через неплотность технологического оборудования, расположенного в реакторном и аппаратном помещениях. Радиоактивные отходы являются составной частью работы АС и подлежат временному хранению на территории АЭС. Система обращения с жидкими радиоактивными отходами включает в себя системы для сбора, переработки, временного хранения и отверждения жидких радиоактивных сред (ЖРС). В основу проектирования системы положено обеспечение сокращения объемов ЖРС и нераспространения их за пределы АС. Система обращения с ЖРС спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать в полном объеме прием, временное хранение и переработку ЖРС.

К системам обращения с ЖРС относятся такие системы: сбора трапных вод и стоков от саншлюзов; сбора протечек и дезактивационных вод; сбора контурных вод; промежуточного хранения жидких радиоактивных отходов; концентрирования; цементирования; пиролиза отработавших ионообменных смол (ОИОС), сорбентов и шламов.

В систему сбора радиоактивных сред поступают следующие среды, образующиеся в процессе эксплуатации АЭС (трапные воды): технологические дренажи оборудования; сливы от дезактивации помещений и оборудования; неор-

ганизованные протечки радиоактивных сред; сливы после опорожнения систем; неорганизованные протечки нерадиоактивных сред (вода промконтура, реагенты и т. п.); сливы от регенераций, взрыхления, отмывок фильтров установок спецочистки; воды гидровыгрузок и гидроперегрузок фильтрующих материалов фильтров установок спецочистки; сливы от радиохимических лабораторий оперативного контроля и зоны контролируемого доступа; сливы отбора проб; сливы от промывок ПГ (в случае их загрязнения).

С целью минимизации объема собранных жидких радиоактивных сред перед их дальнейшей переработкой и с целью возврата большей их части в технологический цикл АС жидкие радиоактивные среды подвергаются переработке и очистке в системах сбора трапных вод и концентрирования.

Переработка трапных вод включает в себя несколько стадий: очистку от радиоактивных веществ в блоке окисления, фильтрацию на мембранных фильтрах, обессоливание на выпарном аппарате, очистку на селективном фильтре (при необходимости). Образующийся в процессе переработки трапных вод нерадиоактивный концентрат солей после дальнейшего концентрирования и осушки направляется на полигон промышленных отходов.

Образующиеся в процессе переработки трапных вод жидкие радиоактивные концентрированные растворы с содержанием взвешенных частиц до 400 г/л подвергаются промежуточной выдержке (хранению) с целью накопления достаточного их объема перед дальнейшей переработкой на установке цементирования. Наряду с жидкими радиоактивными средами с содержанием взвешенных частиц до 400 г/л промежуточной выдержке (хранению) перед дальнейшей переработкой на установке цементирования подвергаются следующие жидкие радиоактивные среды: отработанные ионообменные смолы (фильтрующие материалы, сорбенты); шлам [16–18].

Обращение с твердыми радиоактивными отходами

Система обращения с твердыми радиоактивными отходами (ТРО) предназначена для сбора ТРО, образующихся на АСММ в процессе нормальной эксплуатации, при проведении ТОиР, сортировки и переработки ТРО, в форму, пригодную для безопасного хранения, а также обеспечения радиационной защиты обслуживающего персонала и исключения радиоактивного загрязнения окружающей среды при обращении с радиоактивными отходами. По функциональному назначению система обращения с ТРО подразделяется на следующие подсистемы: сбора на местах образования, сортировки и транспортирования; переработки твердых радиоактивных отходов; хранения твердых радиоактивных отходов.

Классификация отходов осуществляется по категориям активности в соответствии с «Санитарными правилами проектирования и эксплуатации атомных станций» СП АС-03.

Низко- и среднеактивные отходы для сокращения объема, поступающего на хранение, подвергаются следующим видам переработки: контрольной сортировке, совмещенной с предварительным прессованием и измельчением; сжиганию; прессованию высоким давлением.

Обращение с газообразными радиоактивными отходами

Система обращения с газообразными радиоактивными отходами включает в себя системы вентиляции и систему

обращения с газообразными радиоактивными сдвухами технологического оборудования и системы фильтрации и вентиляции.

Газообразные радиоактивные отходы образуются во внутренних помещениях здания реактора и других помещениях зоны контролируемого доступа в результате протечек теплоносителя первого контура и выбрасываются вытяжными вентиляционными системами в окружающую среду. Воздух, выбрасываемый в атмосферу из помещений с источниками радиоактивных загрязнений, проходит двухступенчатую очистку от аэрозолей и йода либо одноступенчатую очистку от аэрозолей на специальных фильтрах.

Фильтровальными установками аэрозольной очистки оснащены вытяжные системы: вытяжной вентиляции из необслуживаемых помещений хранения РАО; вытяжной ремонтной вентиляции из необслуживаемых помещений; вытяжной вентиляции из необслуживаемых технологических помещений с выделением водорода; вытяжной противодымной вентиляции «грязных» коридоров; вытяжной вентиляции из необслуживаемых технологических помещений; вытяжной вентиляции из периодически обслуживаемых технологических помещений; вытяжной противодымной вентиляции из необслуживаемых технологических помещений; вытяжной вентиляции надреакторного пространства; ремонтной вытяжной вентиляции надреакторного пространства; вытяжной вентиляции необслуживаемых помещений баков дренажа первого контура; вытяжной вентиляции трубопроводов первого контура; общеобменные системы вентиляции периодически обслуживаемых помещений. С целью сокращения выбросов радиоактивных газов в атмосферу в «центральной зале» предусмотрены рециркуляционные системы вентиляции, оборудованные фильтрами двухступенчатой очистки. Эффективность очистки аэрозольными фильтрами составляет 99,9 % [18].

Система обращения с отработавшим ядерным топливом

Система обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) обеспечивает выполнение следующих операций: выгрузку отработавших ТВС из реактора в баки выдержки (БВ) на промежуточное хранение; выгрузку ПС СУЗ из реактора и размещение их в контейнерах для ТРО; промежуточное хранение некондиционных ТВС; хранение и снятие остаточных тепловыделений с ТВС; загрузку отработавших выдержанных ТВС в транспортный контейнер; дезактивацию контейнеров с выдержанными ТВС; удаление транспортных контейнеров с отработавшими ТВС из реакторного отделения и установку их на транспортное средство в здании спецкорпуса; внутристанционную транспортировку транспортных контейнеров с отработавшими ТВС.

На всех этапах производства работ по перегрузке, транспортированию и хранению отработавшего ядерного топлива обеспечивается биологическая защита обслуживающего персонала, а также ограничение радиационных воздействий на население и окружающую среду. В соответствии с классификацией систем и элементов АС по НП-001-15 система обращения с отработавшим ядерным топливом по назначению является системой нормальной эксплуатации, а по влиянию на безопасность является важной системой для безопасности. Отработавшее топливо хранится в баках выдержки (БВ), которые расположены в зоне локализации аварии. Вывоз

отработавших ТВС из реакторного отделения производится после его выдержки в БВ. Выдержанные отработавшие ТВС вывозятся в транспортных контейнерах. Вывоз ОЯТ с территории площадки АСММ производится автомобильным транспортом. Отработавшее ядерное топливо после выдержки в бассейне выдержки вывозится железнодорожным и автомобильным транспортом (маршрут будет проработан на дальнейших этапах проектирования) на завод регенерации ядерного топлива.

Радиационная безопасность

В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиологической защите при анализе радиационного воздействия на объекты окружающей среды приоритет отдается оценке потенциальных последствий действия радиации на организм человека и обеспечению именно для человека разумной основы охраны здоровья. Радиационное воздействие на живую и неживую природу рассматривается с точки зрения возможных дополнительных путей радиационного воздействия на человека через пищевые цепочки.

В то же время изменения в других природных организмах в результате воздействия радиации (внутреннее облучение от накопившихся в них радионуклидов и внешнее облучение, связанное с загрязнением как живых, так и неживых компонентов окружающей их среды) могут вызвать нарушение экосистемы. В соответствии с требованиями ОСПОРБ-99/2010 атомные станции относятся к I категории радиационных объектов, вокруг которых установление СЗЗ и ЗН является обязательным. Согласно требованиям НД для вновь проектируемых блоков повышенной безопасности, границы СЗЗ должны быть оборудованы оградой промплощадки, размер зоны наблюдения определен из требования информативности, радиационного контроля на этой территории при нормальной эксплуатации АСММ, возможных радиационных авариях и инцидентах. Границы санитарно-защитной зоны АСММ совпадают с оградой ее промплощадки. Размер зоны наблюдения (ЗН) АСММ составляет 1,5 км.

Требования к радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды района размещения АСММ определены федеральными законами № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и другими и нормами и правилами радиационной безопасности НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010, СП АС-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций», СП 2.6.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ» и др.

Все исходные события в зависимости от частоты их возникновения разделяются на категории:

проектные условия категории 1 (DBC1):

– нормальная эксплуатация – НЭ в соответствии с НП-001-15;

проектные условия категории 2 (DBC2):

– условия отказов – отклонения от НЭ в соответствии с НП-001-15;

проектные условия категории 3 (DBC3):

– постулируемые аварии класса 1 – ННЭ, не перешедшие в проектную аварию, в соответствии с НП-001-15;

проектные условия категории 4 (DBC4):

– постулируемые аварии класса 2 – проектные аварии с

повреждением твэлов и (или) радиационными последствиями в соответствии с НП-001-15; сложные последовательности (запроектные условия, DEC1), которые включают отказы сверх тех, которые рассматривались в детерминистических проектных условиях, но не приводят к тяжелой аварии;

– запроектные аварии без повреждения твэлов выше максимального проектного предела в соответствии с НП-001-15;

– запроектные условия с плавлением активной зоны (DEC2),

– тяжелые аварии (аварии с повреждением твэлов выше максимального проектного предела) в соответствии с НП-001-15 [13-16].

Обеспечение радиационной безопасности

Дозовые пределы для населения при НЭ и ННЭ, исключая аварии. При НЭ и ННЭ, исключая аварии, предельные индивидуальные дозы облучения ограниченной части из населения (критической группы) за счет воздействия АСММ в соответствии с НРБ-99/2009 составляют:

– эффективная доза – 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные пять лет, но не более 5 мЗв в год;

– эквивалентная доза за год: хрусталик глаза – 15 мЗв; кожа – 50 мЗв; кисти и стопы – 50 мЗв.

В соответствии с требованием раздела 2.1.3.2.2 EUR целевые показатели дозовой нагрузки ограниченной части из населения (критической группы) при НЭ и ННЭ, исключая аварии, за счет воздействия АСММ с двумя РУ РИТМ-200Н составляют: 0,3 мЗв/год с одной площадки (этот целевой показатель не зависит от номинальной мощности АС, должны быть учтены все возможные пути поступления РВ: с пищей, при дыхании, осадки, прямая радиация).

Принимаемые в проекте целевые показатели дозовой нагрузки ограниченной части из населения (критической группы) при НЭ и ННЭ, исключая аварии, за счет воздействия АСММ с двумя РУ РИТМ-200Н (для соответствия требованиям НРБ-99/2009 и EUR):

– эффективная доза – 0,3 мЗв/год с одной площадки;

– эквивалентная доза за год: хрусталик глаза – 15 мЗв; кожа – 50 мЗв; кисти и стопы – 50 мЗв. [16, 17].

Мероприятия по снижению воздействия атомной электростанции на окружающую среду. Мероприятия по обеспечению радиационной безопасности.

АСММ является потенциальным источником загрязнения окружающей среды радионуклидами. Вследствие этого уже на стадии разработки оборудования, проектной документации строительства АСММ в технических решениях предусматриваются мероприятия, исключающие неорганизованный выход радиоактивных продуктов за пределы герметичных систем станции. Необходимо отметить, что загрязнение окружающей среды стоками, содержащими радионуклиды, при эксплуатации АС отсутствует. Достаточно жесткие пределы соблюдаются для газообразных выбросов. Радиационная безопасность АСММ обеспечивается последовательной реализацией принципа глубокоэшелонированной защиты, основанного на применении системы барьеров на пути распространения радиоактивных излучений и радиоактивных веществ в помещениях АС и окружающую среду, а также системой технических и организационных мер непосредственно по защите персонала, населения и окружающей среды.

Основными техническими средствами и организационными мерами по обеспечению радиационной безопасности являются:

- соблюдение персоналом режима зон, при котором здания и сооружения разделены на зоны контролируемого доступа (ЗКД) и зоны свободного доступа (ЗСД) согласно СП АС-03, а помещения ЗКД в зависимости от возможного радиационного воздействия на персонал – на три категории (необслуживаемые, периодически обслуживаемые и помещения постоянного пребывания);
- экраны биологической защиты, роль которой выполняют биологическая защита реактора, бетонные стены и перекрытия помещений АЭС;
- защитная гермооболочка, локализирующая выделяющиеся в случае аварии радиоактивные вещества;
- устройство замкнутых контуров для радиоактивных сред;
- организация контроля за радиоактивными течами, сбором и очисткой возможных радиоактивных течей;
- системы спецвентиляции, обеспечивающие необходимую кратность воздухообмена для ограничения концентрации радиоактивных веществ в периодически обслуживаемых помещениях ЗКД в пределах, установленных нормативными документами;
- системы очистки газов и вытяжного воздуха из помещений ЗКД перед выбросом в атмосферу;
- системы сбора, переработки и временного хранения РАО;
- выброс радиоактивных газов и аэрозолей АЭС в атмосферу через вентиляционную трубу для обеспечения высокой степени снижения концентрации радионуклидов в атмосфере;
- система постоянного радиационного контроля за выбросами или сбросами радиоактивных веществ со станции.

В основу проектирования вентиляции АЭС заложены следующие принципиальные решения: раздельная вентиляция помещений ЗКД и ЗСД. При нормальной эксплуатации (работа на мощности, перегрузка топлива и ППР) содержание радиоактивных аэрозолей в вентиляционной трубе ожидается значительно ниже уровня $DOA_{перс.}$ для производственных помещений. При эксплуатационных нарушениях и аварийных ситуациях, сопровождаемых разуплотнением оборудования с радиоактивными средами, в воздух помещений могут выделяться радиоактивные вещества в виде газов и аэрозолей.

Четкое выполнение в проекте принципа зонирования помещений исключает посещение персоналом необслуживаемых боксов при работе оборудования. С целью предотвращения загрязнения воздушной среды в доступных для персонала помещениях станции радиоактивными веществами выше допустимых значений и снижения их содержания в атмосферном воздухе при эксплуатации АСММ во всех проектных режимах (включая условия нормальной эксплуатации и аварии) в проекте предусмотрены следующие основные технические решения для систем вентиляции помещений зоны контролируемого доступа: организация направленного движения воздуха только в сторону более «грязных» помещений; установка герметичных дверей в технологических помещениях зоны строгого режима с радиоактивными средами; создание нормальных условий для ремонтного персонала при ППР и перегрузочных работах.

В этой ситуации автоматически, по сигналу датчиков радиационного контроля, происходит переключение этого помещения с системы общеобменной вытяжной вентиляции на вытяжную систему очистки, оснащенную эффективными аэрозольными фильтрами. Удаляемый воздух перед выбросом в атмосферу проходит очистку от радиоактивных аэрозолей на аэрозольных фильтрах, благодаря чему обеспечивается низкий уровень радиоактивных аэрозолей в газообразном вентиляционном выбросе. Выброс в атмосферу вытяжного воздуха, удаляемого из помещений зоны строгого режима, осуществляется через вентиляционную трубу. Предусматривается контроль радиоактивности воздуха перед выбросом в атмосферу. Кроме систем вентиляции предусмотрена система очистки радиоактивного газа от сдувок из технологического оборудования, а также из системы очистки газовой подушки реактора. Система оснащена угольными, аэрозольными и йодными фильтрами с высокой эффективностью очистки. Техническими решениями исключены сбросы ЖРО в окружающую среду. Все ЖРО перерабатываются и отверждаются. Система обращения с ТРО также обеспечивает их надежное хранение без контакта с окружающей средой. Газо-аэрозольный выброс в атмосферу воздуха из помещений АС подвергается глубокой очистке и непрерывному контролю, что гарантирует выполнение требований СП АС-03 в части защиты персонала и населения, а значит, и всей биоты в целом [18].

Мероприятия по повышению безопасности атомной электростанции малой мощности с реакторной установкой РИТМ-200Н

Предпроектная документация АСММ соответствует требованиям современных российских и зарубежных норм и обеспечивает повышение уровня безопасности, увеличение расчетного срока службы и оптимизацию технико-экономических показателей. Под безопасностью понимается свойство реакторной установки при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами. АСММ спроектирована таким образом, что радиационное воздействие на население и окружающую среду при нормальной длительной эксплуатации, предполагаемых эксплуатационных нарушениях и проектных авариях не приводит к превышению установленных доз облучения населения и ограничивает это воздействие при запроектных авариях. Радиационное воздействие на население и окружающую среду поддерживается ниже установленных нормативных пределов и на разумно достижимом низком уровне с учетом социальных и экономических аспектов. Безопасная эксплуатация обеспечивается за счет последовательной реализации принципа глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении системы барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также техническими и организационными мерами по защите барьеров, сохранению их эффективности и непосредственно по защите населения.

Барьерами, ограничивающими распространение радиоактивных продуктов на станции, являются: топливная матрица; оболочка твэла; контур первичного теплоносителя; герметичное ограждение, ограждающее контур первичного теплоносителя. Состояние каждого из барьеров контролируется

ется при эксплуатации АСММ и поддерживается на необходимом уровне. Конструкционные особенности АСММ разработаны с применением пассивных систем безопасности, а также технических решений, направленных на предотвращение перерастания исходных событий в аварию. В рамках разработки регламента станции будут установлены эксплуатационные пределы и пределы безопасной эксплуатации для технологических параметров, характеризующих состояние РУ, в том числе мощность реактора, давление в первом контуре, температура теплоносителя. Введение таких пределов позволяет управлять внештатными ситуациями и предотвращать перерастание исходных событий в аварию, сохраняя целостность барьеров (в первую очередь оболочек топливных элементов), тем самым снижая вероятность дополнительного выхода продуктов деления из топлива в теплоноситель. Введение пределов, при достижении значений которых срабатывают технологические защиты (например, по ограничению повышения давления в контуре первичного теплоносителя и др.), позволяет обеспечить смягчение последствий аварийных состояний, возникших в результате превышения эксплуатационных пределов.

В основу концепции безопасности АСММ положен принцип глубоко эшелонированной защиты, использующий применение последовательных физических барьеров на пути потенциально возможного распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности, а также по защите персонала, населения и окружающей среды.

Концепция безопасности основана на следующих основных положениях, документах и требованиях: требованиях федеральных законов «Об использовании атомной энергии» и «О радиационной безопасности населения»; требованиях федеральных норм и правил в области атомной энергетики РФ; современной философии и принципах безопасности, выработанных мировым ядерным сообществом и закрепленных в нормах безопасности МАГАТЭ; публикациях Международной консультативной группы по ядерной безопасности (INSAG), требованиях EUR; комплексе отработанных и проверенных эксплуатацией технических решений при их совершенствовании для устранения выявленных в процессе эксплуатации АСММ «слабых звеньев»; применении верифицированных и аттестованных расчетных методик, кодов и программ, отработанной методологии анализа безопасности, достоверной базы данных; проведении необходимых НИОКР в обоснование расчетно-методической базы проекта и внедряемых конструкций, систем и оборудования; учете результатов исследования в области тяжелых радиационных аварий с внедрением организационных и технических мер по их предотвращению и ограничению последствий.

В соответствии с принципом глубоко эшелонированной защиты АСММ проектируется, сооружается и эксплуатируется таким образом, что радиоактивные материалы оказываются окруженными физическими барьерами. Пять уровней эшелонированной защиты предназначены для обеспечения эффективной защиты физических барьеров от возможных воздействий. Приоритетной для разработчика является стратегия предотвращения отклонений, нарушений и аварий. Одновременно реализуются меры по повышению надежности систем безопасности, внедряются технические средства для управления запроектными авариями, включая тяжелую ради-

ационную аварию, меры по ослаблению последствий таких аварий.

В концепции безопасности определены и обеспечены техническими решениями основные критерии безопасности: ядерной, радиационной, пожарной.

Цель радиационной защиты – ограничение доз облучения персонала, населения и выхода радиоактивных веществ в окружающую среду:

при нормальной эксплуатации – ниже установленных пределов на разумно достижимом, социально и экономически оправданном низком уровне, подтвержденном опытом эксплуатации действующих отечественных и зарубежных энергоблоков с реакторами РИТМ-200Н;

при условиях нарушения нормальной эксплуатации – радиационное воздействие на население, как правило, не должно выходить за пределы, установленные нормативами для нормальной эксплуатации;

при проектных авариях – радиационные последствия не должны выходить за пределы, установленные нормативами для принятия решений по защите населения;

при запроектных авариях – должно обеспечиваться ограничение последствий аварий с тяжелым повреждением активной зоны в целях защиты населения, зоны экстренной эвакуации и длительного отселения населения, не должны превышать размеры СЗЗ АСММ, что практически исключает необходимость экстренной эвакуации и длительного отселения населения; радиус зоны, в пределах которой возможно введение защитных мер для населения (включая временную эвакуацию) после завершения ранней стадии аварии, не должен превышать радиуса СЗЗ АСММ.

Техническая цель безопасности – инженерными и организационными средствами обеспечить мероприятия, направленные на предотвращение аварий, ограничить их радиологические последствия, обеспечить «практическую невозможность» аварии с большими радиологическими последствиями.

Достижение технических целей безопасности обеспечивается решением следующих задач: повышения качества оборудования, систем и их эксплуатации; внедрения комплекса специальных инженерных систем и средств для преодоления проектных и запроектных аварий, в том числе локализующих средств и систем, включая двойную защитную оболочку; внедрения технических средств, реализующих использование свойств самозащищенности, самосрабатывания, пассивного принципа действия. Критерии безопасности и проектные пределы принимаются в соответствии с действующей нормативной документацией, рекомендациями МКРЗ (Международной комиссии по радиологической защите) и МАГАТЭ.

Для населения устанавливаются следующие проектные дозовые пределы: в качестве квот для нормальной работы по каждому фактору воздействия (выбросы/сбросы) установлен целевой предел – доза 10 мкЗв/год; для нормальной эксплуатации (работа на номинальной мощности и при остановках на ППР) и нарушениях нормальной эксплуатации в качестве верхней границы при оптимизации радиационной защиты устанавливается предел индивидуальной эффективной дозы облучения населения (критическая группа) 100 мкЗв в год, что составляет 1 и 10 % от основного дозового предела, регламентированного НРБ-99/2009 для населения в среднем за последовательные пять лет.

Данные пределы не должны быть превышены на границе санитарно-защитной зоны (промплощадки) и за ее пределами; при проектных авариях на АЭС ожидаемые дозы облучения ограниченной части из населения (критической группы) на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами не должны превышать 5 мЗв на все тело и 50 мЗв на отдельные органы за первый год после аварии; при запроектных авариях на АЭС дозы облучения ограниченной части населения (критической группы) на границе зоны планирования защитных мероприятий и за ее пределами не должны превышать 5 мЗв на все тело и 50 мЗв на отдельные органы за первый год после аварии.

В проекте обосновывается, что радиационная безопасность обеспечивается путем непревышения проектных пределов, которые в свою очередь ограничивают уровень активности теплоносителя первого контура по продуктам деления. Выброс радиоактивных веществ в атмосферу и воду не должен превышать уровней, установленных СП АС-03. Должны соблюдаться проектные пределы, установленные нормативами по степени герметичности защитных барьеров: оболочки твэлов, первого контура, участков локализации контуров, смежных с первым контуром, локализующей арматуры, бассейна выдержки, защитной оболочки. С целью предотвращения ядерной аварии учтены критерии ядерной безопасности, при которых обеспечены контроль и управление активной зоной реактора; исключена локальная критичность при перегрузке, транспортировке и хранении ядерного топлива; обеспечено охлаждение твэлов. Учтены установленные нормами и правилами эксплуатационный предел и предел безопасной эксплуатации повреждаемости твэлов при работе РУ на мощности.

Вероятность тяжелого повреждения топлива, приводящего к частичному или полному расплавлению активной зоны без выхода расплава за пределы корпуса, не должна превышать 10^{-6} на реактор в год. Вероятность расплавления активной зоны с выходом расплава за пределы корпуса реактора не должна превышать 10^{-7} на реактор в год.

Давление в первом контуре при нормальной эксплуатации, нарушениях и проектных авариях не должно превышать 1,15 от рабочего с учетом действия АЗ и аварийного теплоотвода. Критерии и проектные пределы взрыво-пожаробезопасности устанавливаются в соответствии с требованиями специальных НД и рекомендаций ВНИИПО и включают критерии огнестойкости и соответствующие им проектные пределы по параметрам внешней среды при пожаре. Горение при запроектных авариях не должно нарушать работу систем (элементов) безопасности, предназначенных для управления запроектными авариями. Проектом определены значения по необходимым резервам времени для надежного выполнения корректирующих действий. Эти ориентиры должны быть использованы для анализа и обоснования мер управления запроектными авариями. Указанные ориентиры установлены с консервативными запасами на базе опыта эксплуатации стационарных и транспортных энергоустановок и с учетом рекомендаций МАГАТЭ [18].

Радиационный контроль

В соответствии с «Санитарными правилами проектирования и эксплуатации атомных станций» (СП АС-03) на АЭС и прилегающей к ней территории осуществляется постоянный радиационный контроль. Автоматизированная система

радиационного контроля (АСРК), действующая на АЭС и ее промплощадке, дает информацию по объемной активности инертных радиоактивных газов (ИРГ) в выбросах; изотопному составу ИРГ в выбросах; мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения; объемной активности радионуклидов в жидких сбросах.

Радиационный контроль окружающей среды в автоматизированном режиме осуществляется автоматизированной системой контроля окружающей среды (АСКРО), а также лабораторными методами контролируется содержание радионуклидов в почве, воде, выпадениях, растительности, продуктах питания местного производства и т. д.

Автоматизированная система контроля окружающей среды охватывает территорию, прилегающую к АЭС, включающую СЗЗ и ЗН. Размеры этих зон должны определяться с учетом полной мощности блоков АЭС, а также с учетом прогностических оценок радиационной обстановки в районе размещения АЭС при ее длительной эксплуатации.

АСКРО по своему назначению относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности АЭС классу ЗН. АСКРО создается как информационно-измерительная система. Система радиационного контроля окружающей среды вводится в эксплуатацию до физического пуска АЭС [16–18].

Выводы

1. Реакторная установка РИТМ-200Н для использования в горнорудной промышленности Монголии имеет перспективы только с обязательным учетом устранения недостатков, выявленных в процессе эксплуатации прототипа реакторной установки КЛТ-40 С.

2. Необходимо отметить, что основное оборудование станции будет изготавливаться отечественными предприятиями. Использование проектных материалов близких прототипов, унифицированного оборудования, наличие производственных мощностей с отлаженной кооперацией предприятий-изготовителей оборудования позволят минимизировать сроки, стоимость проектирования и строительства, эксплуатационные затраты АЭС.

3. По мнению проектировщиков, интегральная компоновка РИТМ-200Н – локализация теплоносителя первого контура в одном объеме (в корпусе), отсутствие патрубков и трубопроводов большого диаметра, что уменьшает вероятность аварии с большой течью теплоносителя. С другой стороны, в интегральной компоновке затруднен доступ к оборудованию, размещенному в реакторе, что ограничивает или усложняет ремонтное обслуживание. Поэтому интегральная компоновка предполагает использование высоконадежного оборудования, созданного на основе решений, подтвержденных эксплуатацией, и прошедшего представительную ресурсную проверку.

4. Главный недостаток судовых ядерных реакторов – это низкая надежность ПГ. За весь период эксплуатации на всех атомных ледоколах заменено более 14 трубных систем ПГ и устранена негерметичность (заглушены) более 250 секций ПГ [6, 7]. Работы по замене внутреннего устройства ПГ начались в 2003 году. Как показала практика, замена трубных систем ПГ не решила проблему. На 10 из 12 замененных и находящихся в эксплуатации ПГ уже пришлось устранять негерметичность. Течь «новых» ПГ стала проявляться уже при наработке 3000–5000 час. Поэтому вопрос качества из-

готовления ПГ стоит остро и требует детального исследования. Главная проблема эксплуатации – отказы секций ПГ с образованием межконтурной неплотности. Причина – выявленное в ходе эксплуатации и проведенных материаловедческих исследований явление локального, аномально высокого наводороживания в титановой коллекторной трубе в области сварного шва № 62. Традиционный способ восстановления работоспособности парогенераторов: глушение негерметичных секций [18].

5. Применение в проекте РУ РИТМ-200Н прямотрубного парогенератора, удельная паропроизводительность которого более чем в два раза выше ранее эксплуатирующихся змеевиковых позволит повысить надежность ПГ. Конфигурация парогенерирующих кассет должна обеспечить их компактное размещение в корпусе парогенерирующего блока. По сравнению с аналогом в новом парогенераторе изменены или упразднены узлы, которые создают условия локального повышения концентрации водорода, способствующего наводороживанию и выходу из строя трубной системы в процессе эксплуатации. Принимая во внимание сложность замены вышедших из строя кассет парогенератора, размещенных внутри корпуса парогенерирующего блока, приняты меры для повышения его живучести.

6. Основным источником поступления радионуклидов в окружающую среду при нормальной эксплуатации АСММ

с РУ РИТМ-200Н являются газоаэрозольные выбросы через высотную вентиляционную трубу. Конструктивные и технические решения проекта АСММ будут обеспечивать (минимизировать) величину выбросов радионуклидов ниже допустимых (по СП АС-03) уровней. Радиационное воздействие на население и окружающую среду в нормальной длительной эксплуатации, предполагаемых эксплуатационных нарушениях и проектных авариях не приведет к превышению установленных доз облучения населения и будет ограничиваться при запроектной аварии. Образующиеся в процессе эксплуатации жидкие и твердые радиоактивные отходы подвергаются переработке. Жидкие сбросы, содержащие радиоактивные и нерадиоактивные загрязнители, исключены проектными техническими решениями.

7. Наличие системы радиационного контроля АСММ должно обеспечить радиационный контроль (АСРК) на АСММ и ее промплощадке, а также в зоне наблюдения. В районе расположения АСММ (в период всего жизненного цикла АСММ) предусматривается проведение комплексного экологического мониторинга.

8. Основным недостатком для реализации проекта в Монголии является отсутствие национальных ядерных исследовательских центров, имеющих ядерные установки, а также подготовленного персонала, задействованного при разработке ядерных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Батжаргал Д, Дашбал Б Современное состояние минерально-сырьевой базы Монголии. *Молодой ученый*. 2012;3(38):122-27. Batjargal D, Dashbal B. The current state of the mineral resource base of Mongolia. *Young scientist*. 2012;3(38):122-27 (In Russ.).
2. Наумов СС, Машковцев ГА. Минерально-сырьевая база урана Монголии: история создания, перспективы развития и освоения. *Минеральные ресурсы Монголии в XXI веке: Тезисы докладов*. Улан-батор, 2006. Naumov SS, Mashkovtsev GA. The mineral resource base of Mongolia's uranium: the history of creation, prospects for development and development. *Mineral resources of Mongolia in the XXI century*. Ulaanbaatar, 2006. (In Russ.).
3. Черашев ДВ. Перспективы сотрудничества России и развивающихся стран в горно-металлургическом комплексе. *Российский внешнеэкономический вестник*. 2021; 12:69-88. Cherashev DV. Prospects for cooperation between Russia and developing countries in the mining and metallurgical complex. *Russian Foreign Economic Bulletin*. 2021; 12:69-88. (In Russ.).
4. Калинин РР, Хатмуллин АР. Монголия как новый центр борьбы за ресурсы: Перспективы российско-монгольского сотрудничества в области атомной энергетики, освоения и добычи полезных ископаемых. *Доклады ПИР-Центра*. 2024;41:43. URL: <https://pircenter.org/wp-content/uploads/2024/08/24-08-14-Russia-Mongolia-Cooperation-RUS.pdf>.
5. Построение полного ЯТЦ Национальная атомная компания «Казатомпром». URL: http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/Postroenie_polnogo_YaTTs. Building a complete NFC Kazatomprom National Nuclear Company. Available from: http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/Postroenie_polnogo_YaTTs. (In Russ.).
6. Мировая карта месторождений: Урановый холдинг «АРМЗ». URL: <http://www.armz.ru/html5/map.php?lang=rus>. World map of deposits: ARMZ Uranium Holding. – Available from: <http://www.armz.ru/html5/map.php?lang=rus>. (In Russ.).
7. Mongolia's development of the most important minerals opens up new opportunities and poses new challenges. *NBR*. 08/16/2023 Available from: <https://www.nbr.org/publication/mongolias-development-of-critical-minerals-opportunities-and-challenges>.
8. Экономика Монголии выросла на 6,8 % по итогам 2023 года – вице-премьер. *Financial One*. URL: <https://fomag.ru/news-streem/ekonomika-mongolii-vyroslo-na-6-8-po-itogam-2023-goda-vitse-premer>. Mongolia's economy grew by 6.8% by the end of 2023 - Deputy Prime Minister. *Financial One*. Available from: <https://fomag.ru/news-streem/ekonomika-mongolii-vyroslo-na-6-8-po-itogam-2023-goda-vitse-premer> (In Russ.).
9. Mongolia's economy is expected to grow by 4.1% in 2024 and 6.0% in 2025– ADB. *Asian Development Bank*. Available from: <https://www.adb.org/news/mongolia-economy-expected-grow-4-1-2024-and-6-2025-adb>.
10. Очирбат П. Угольная промышленность Монголии: состояние и перспективы развития. *Записки Горного института*. 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugolnaya-promyshlennost-mongolii-sostoyanie-iperspektivy-razvitiya>. Ochirbat P. Mongolia's coal industry: the state and prospects of development. *Notes of the Mining Institute*. 2017. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugolnaya-promyshlennost-mongolii-sostoyanie-iperspektivy-razvitiya> (In Russ.).
11. Исупов ВП, Шацкая ИА, Бородулина ИА. Уран в минерализованных озерах Западной Монголии и сопредельной территории России: ресурсы, источники накопления, пути инновационного освоения. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2014;22(4):429-36.

Isupov VP, Shatskaya SS, Borodulina IA. Uranium in mineralized lakes of Western Mongolia and adjacent territory of Russia: resources, sources of accumulation, ways of innovative development. *Chemistry in the interests of sustainable development*. 2014;22(4):429-36. (In Russ.).

12. Данилов ЮГ, Никифорова ВВ, Леонтьев СП и др. ГОК «Эрдэнэт»: история и перспективы развития. *Горная промышленность*. 2019;5:24-7.

Danilov YuG, Nikiforova VV, Leontiev SP, et al. GOK «Erdenet»: history and prospects of development // *Mining industry*. 2019;5:24-7. (In Russ.).

13. Материалы обоснования лицензии на осуществлении деятельности в области использования атомной энергии – сооружение ядерной установки «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Книга 1: Материалы обоснования лицензии на сооружение YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0001.R. АО «Концерн Росэнергоатом». Москва, 2023: 89.

Materials substantiating the license to carry out activities in the field of atomic energy use – construction of a nuclear installation “Power unit No. 1 of the Yakut low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga, Ust-Yansky Ulus)”. Book 1: Materials substantiating the license for the construction of YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0001.R. / JSC Concern Rosenergoatom. Moscow, 2023: 89. (In Russ.).

14. Материалы обоснования лицензии на осуществлении деятельности в области использования атомной энергии – сооружение ядерной установки «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Книга 2: Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду. YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0002.R. АО «Концерн Росэнергоатом». Москва, 2023: 227.

Materials substantiating the license to carry out activities in the field of atomic energy use – construction of a nuclear installation “Power unit No. 1 of the Yakut low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga, Ust-Yansky Ulus)”. Book 2: Preliminary materials for environmental impact assessment. YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0002.R. Rosenergoatom Concern JSC. Moscow, 2023: 227 (In Russ.).

15. Материалы обоснования лицензии на осуществлении деятельности в области использования атомной энергии – сооружение ядерной установки «Энергоблок № 1 Якутской атомной станции малой мощности (п. Усть-Куйга, Усть-Янский улус)». Книга 3: Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду. Продолжение YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0003.R. АО «Концерн Росэнергоатом». Москва, 2023: 318.

Materials substantiating the license to carry out activities in the field of atomic energy use – construction of a nuclear installation “Power unit No. 1 of the Yakut low-power nuclear power plant (Ust-Kuiga, Ust-Yansky Ulus)”. Book 3: Preliminary materials for environmental impact assessment. Continued YKT1.U.L530.0.000000.000000.016.GY.0003.R. Concern Rosenergoatom JSC. Moscow, 2023: 318 (In Russ.).

16. Кузнецов ВМ, Юрчевский ЕБ, Спиридонов ВП. Безопасность атомной электростанции малой мощности проекта 20870: Часть 1: Анализ безопасности прототипов АСММ. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2022;6(140):60-72.

Kuznetsov VM, Yurchevsky EB, Spiridonov VP. Safety of the low-power nuclear power plant of Project 20870: Part 1: Safety analysis of ASMM prototypes. *Energy saving and water treatment* 2022;6(140):60-72. (In Russ.).

17. Кузнецов ВМ, Юрчевский ЕБ, Спиридонов ВП. Безопасность атомной электростанции малой мощности проекта 20870: Часть 2: о надежности прототипов АСММ. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2023;1(141):65-75.

Kuznetsov VM, Yurchevsky EB, Spiridonov VP. Safety of the low-power nuclear power plant of Project 20870: Part 2: On the reliability of ASMM prototypes. *Energy saving and water treatment*. 2023;1(141):65-75. (In Russ.).

18. Кузнецов ВМ. Плавающие АЭС России. Москва, 2000:64.

Kuznetsov V. M. Floating nuclear power plants of Russia. Moscow, 2000;64 (In Russ.).

19. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарные правила. URL: <https://www.ntcexpert.ru/documents/docs/nrb-99-2009.pdf>.

Radiation safety standards (NRB-99/2009): sanitary rules. Available from: URL: <https://www.ntcexpert.ru/documents/docs/nrb-99-2009.pdf>. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS



Владимир Михайлович Кузнецов –
д-р техн. наук, профессор, ООО «Группа
компаний «ИнтеллектСервис», 115088, г.
Москва, Российская Федерация,
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru

Vladimir M. Kuznetsov –
Doctor of Technical Sciences, Professor, LLC
«Group of companies Intellectualservice», 115088,
Moscow, Russian Federation,
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru



Валерий Петрович Спиридонов –
кандидат технических наук, профессор,
Академия Государственной противопожарной
службы Министерства РФ по делам
гражданской обороны, чрезвычайным
ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий, 129366, г. Москва,
Российская Федерация, e-mail: svp-vak@mail.ru

Valery P. Spiridonov –
Candidate of Technical Sciences, Professor,
Academy of the State Fire Service Ministry of the
Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural
Disasters, 129366, Moscow, Russian Federation,
e-mail: svp-vak@mail.ru



Валентина Валерьевна Спиридонова –
научный сотрудник ВНИИГеосистем ФГБУ
«ВНИГНИ», 105118, г. Москва, Российская
Федерация, e-mail: v.spiridonova@geosys.ru

Valentina V. Spiridonova –
research Associate VNIIGeosystem FSBI «VNIGNI»,
105118, Moscow, Russian Federation, e-mail:
v.spiridonova@geosys.ru

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 09.10.2024.

Поступила после рецензирования: 28.11.2024.

Принята к публикации: 28.01.2025.

Article info

Received: 09.10.2024.

Revised: 28.11.2024.

Accepted: 28.01.2025.

A. B. Ameen^{1✉}, A. O. Ajayi², A. Olusola¹

¹Roygbiv Analytical and Environmental Services Limited, Suite No. 5 Abdulsalam Shopping Complex off Hajj Camp Road Ilorin, Kwara State, Nigeria

²Adekunle Ajasin University, Department of Microbiology; Centre for Infectious Disease Control and Drug Development (CIDCDD) AAUA, Akungba-Akoko, Ondo State, Nigeria

✉ ambabs4real@yahoo.co.uk, project2023@zohomail.com

Abstract. Environmental pollution poses significant challenges in West African countries and globally, necessitating urgent mitigation efforts. The article presents the results of environmental quality assessment in the territory of the aluminum sulfate and sulfuric acid production plant. The aim was to assess the ecological condition of the studied area and the impact of the company's activities on people and environmental resources. Environmental parameters assessed during the audit include groundwater and soil. Notably, Drury Industries Limited underwent environmental research following its establishment as a leading manufacturer of Aluminum sulphate and Sulphuric acid in West Africa. The company's production lines include Sulphuric acid plant I with a capacity of 80,000MT/Annum and Aluminum sulphate with a capacity of 72,000MT/Annum, crucial for various industrial processes. Situated on a 177,145m² land area in Ogun State, Nigeria, the company adhered to environmental regulations such as S.I. 36 of 2009 and S.I. 8 of 1991 to monitor effluent discharge and waste management. The environmental study, conducted in compliance with ISO 14001:2015 standards and national regulations, highlighted key findings and recommendations for Drury Industries Limited. Recommendations included developing an HSE plan, enhancing materials utilization efficiency, and implementing measures for waste management and pollution abatement. The study emphasized the importance of occupational health safety facilities, personal protective equipment, and efficient waste management practices to ensure sustainable operations. Furthermore, the research underscored the company's contribution to government revenue through tax payments at the local, state, and federal levels. By implementing the recommended measures and enhancing existing practices, Drury Industries Limited can not only improve its operational efficiency but also contribute to environmental protection and sustainable development in the region.

Keywords: Aluminum sulphate, Environmental Research, Pollution, Sulphuric acid, West Africa

For citation: Ameen AB, Ajayi AO, Olusola A. Environmental study of a major aluminum sulphate and sulphuric acid manufacturer in Lagos State, Nigeria, Sub-Saharan Africa. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):45-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-45-56>.

А. Б. Амин^{1✉}, А. О. Аджайи², А. Олусола¹

¹Roygbiv Analytical and Environmental Services Limited, Suite No. 5 Abdulsalam Shopping Complex off Hajj Camp Road Ilorin, Kwara State, Nigeria

²Adekunle Ajasin University, Department of Microbiology; Centre for Infectious Disease Control and Drug Development (CIDCDD) AAUA, Akungba-Akoko, Ondo State, Nigeria

✉ ambabs4real@yahoo.co.uk, project2023@zohomail.com

Аннотация. Загрязнение окружающей среды представляет собой существенную проблему в странах Западной Африки и во всем мире, требуя принятия срочных мер по смягчению последствий. В статье приведены результаты оценки

качества окружающей среды на территории завода по производству сульфата алюминия и серной кислоты. Цель исследований - оценка экологического состояния исследуемой территории и воздействия деятельности компании на людей и ресурсы окружающей среды. Экологические параметры, оцениваемые в ходе аудита, включают грунтовые воды и почву. Компания Drury Industries Limited прошла экологический аудит в качестве ведущего производителя сульфата алюминия и серной кислоты в Западной Африке. Производственные линии компании включают завод по производству серной кислоты I мощностью 80 000 тонн в год и сульфата алюминия мощностью 72 000 тонн в год, что имеет решающее значение для различных промышленных процессов. Расположенная на земельном участке площадью 177 145 м² в штате Огун, Нигерия, компания придерживается экологических норм, таких как S.I. 36 от 2009 года и S.I. 8 от 1991 года, для контроля сброса сточных вод и управления отходами. Экологический аудит, проведенный в соответствии со стандартами ISO 14001:2015 и национальными нормами, выделил основные результаты исследования и рекомендации для Drury Industries Limited. Рекомендации включали разработку плана HSE, повышение эффективности использования материалов и реализацию мер по управлению отходами и снижению загрязнения. Аудит подчеркнул важность объектов охраны труда, средств индивидуальной защиты и эффективных методов управления отходами для обеспечения устойчивой деятельности. Кроме того, аудит подчеркнул вклад компании в государственный доход за счет налоговых платежей на местном, государственном и федеральном уровнях. Внедряя рекомендуемые меры и совершенствуя существующие методы, Drury Industries Limited может не только повысить свою эффективность, но и внести вклад в защиту окружающей среды и устойчивое развитие в регионе.

Ключевые слова: сульфат алюминия, экологический аудит, загрязнение, серная кислота, западная Африка

Для цитирования: Амин АБ, Аджайи АО, Олусола А. Экологическое исследование крупного производителя сульфата алюминия и серной кислоты в штате Лагос, Нигерия, Африка к югу от Сахары. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 45-56. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-45-56>.

Introduction

Environmental research helps provide a detailed description of a property or establishment to enhance our understanding of material flows and identify areas where waste reduction can lead to cost savings [1]. To ensure its effectiveness, the research must be conducted systematically and thoroughly with full management support [2]. In line with the Stockholm Declaration on Environmental Law, Guidelines and Principles of June 1972 and the Koko episode of 1986, the Federal Government of Nigeria established the Federal Environmental Protection Agency (FEPA) in 1988, which is now integrated into the Federal Ministry of Environment (FMEnv) [3]. «The Federal Environmental Protection Agency Act, CAP 131, LFN, 1990 (as amended) by Decree No. 59 of 1992, established the Federal Environmental Protection agency now the FMEnv. By section 4 of the Decree, the Ministry has responsibility for the protection and development of the environment and biodiversity conservation and sustainable development of Nigeria's natural resources in general and environmental technology including initiation of policy in relation to environmental research and technology. The protection of the Nigerian environment from degradation in its entirety is the responsibility of the FMEnv.

The agency has enacted various regulations to fulfill its mandate. Some of these regulations, relevant to industries, include:

(a) Regulation S.I.36, 2009. National Environmental (Chemical, Pharmaceutical, Soap and Detergent Manufacturing Industries)

(b.) Regulations S.I.8. National Environmental Protection (Effluent Limitation, 1991), which stipulate the regulations regarding the installation of anti-pollution equipment, and the treatment of effluent. It also tabulates important wastewater parameters for selected industrial classifications and spells out effluent limitations and gaseous emissions guidelines for all categories of industries.

(c.) Regulation S.I.9. National Environmental Protection (Pollution Abatement in Industries and Facilities Generating

waste) Regulation 1991. This details restrictions on the release of toxic substances and regulations on the monitoring of the pollution units especially with regard to emergencies.

(d.) Regulation S.I.15. National Environmental Protection Management of solid and Hazardous wastes 1991. This gives regulations on the management of solid and hazardous waste and gives a comprehensive list of toxic, hazardous or dangerous wastes.

(e.) The National Guidelines and Standards for Industrial Effluents, Gaseous Emissions and Hazardous Waste Management in Nigeria. (Popularly known as the "FMENV Green Book»). These sets of guidelines are designed to ensure that industrial activities and waste management practices are compatible with the Nation's overall goal of bequeathing a clean and safe environment to present and future generations of Nigerians [4].

These regulations contain important mandatory provisions that facilities generating waste must comply with.

It is worth mentioning that environmental issues are governed by concurrent legislation in the Nigerian constitution. Therefore, each state in the Federation has a Ministry of Environment and a State Environmental Protection Agency (SEPA) or Board. In Ogun State, the Ogun State Environmental Protection Agency (OG EPA) and Ogun state Ministry of Environment (OGMEnv) are responsible for coordinating, monitoring, enforcing, and overseeing environmental policies, programs, and regulations in Ogun state.

To ensure that industries operate in an environmentally friendly manner, section 21 of regulation S.I.9 of 1991 requires the Agency to demand environmental research from existing industries and environmental impact assessments from new industries and major development projects. The industries must comply with these demands within 90 days of receipt.

Section 3 (1) of S.I. No.36 of National Environmental (Chemical, Pharmaceutical, Soap and Detergent Manufacturing Industries) regulations, 2009 also requires every facility to submit an Environmental Impact Statement (EIS) for new industries and major developmental projects before commencing operations.

Existing industries must submit an Environmental Audit Report (EAR) every 3 years [5]. Additionally, if a facility is to be decommissioned, transferred, or alienated for any reason, an EAR must be conducted and submitted to the agency for verification and approval.

In an effort to regulate itself and comply with global and national requirements for sustainable environmental management, Drury Industries Limited commissioned Roygbiv Analytical and Environmental Services Limited to conduct an environmental study of its facility and provide recommendations for improving its environmental management systems.

The Purpose of the Study

The assessment of the facility's environmental quality was conducted in all sections of the factory and immediate environment. The aim was to assess the environmental condition of the study area and the impacts of the company's operations on humans and environmental resources. The environmental parameters assessed during the research exercise include groundwater and soil.

Characteristics of Drury Industries Limited

Drury Industries Limited was incorporated by the Corporate Affairs Commission of the Federal Republic of Nigeria on July 27, 1982, with registration number RC 39426. Established in 1986, Drury Industries Ltd is one of the largest and pioneering manufacturers of Aluminium sulphate and Sulphuric acid on the West Coast of Africa. The company exemplifies self-reliance in the heavy chemicals manufacturing industry.

The sulphuric acid produced in the acid plant is a valuable raw material that improves efficiency in numerous industrial processes.

The factory consists of various production lines, including:

- Sulphuric acid plant I (production capacity of 80,000MT/Annum);
- Aluminium sulphate (production capacity of 72,000MT/Annum).

The operations of the facility may have the following impacts on the environment:

(a) Improper management of industrial solid waste within the facility.

(b) Discharge of effluent wastewater with high oil and grease content, leading to pollution of underground and surface water.

(c) Discharge of effluent wastewater with high oil/grease, BOD, and COD, affecting the quality of receiving surface water and aquatic life.

(d) Gaseous and noise emissions from the facility, which can pollute the air and harm human respiratory and auditory health if the emissions are not well mitigated.

(e) Unmitigated and prolonged heatwaves in the environment would lead to human exhaustion, loss of concentration, reduced productivity, and ultimate systemic collapse in the environment.

Drury Industries Limited is located at Plot 9/18, OPIC Ota Industrial Estate, Agbara, Ogun State (Fig. 1.). The factory lies on the below sketched geographical coordinates. The area is in an industrial layout and is surrounded by several industrial activities (Fig. 2.). The roads in the area provide access for heavy-duty trucks, other companies' cars etc, which carry commuters and loads to and from the area. The land occupies a total area of about 177,145 m².



Fig. 1.
Рис. 1.



Fig. 2.
Рис. 2.

Process Operation Description

Process Description of Sulphuric Acid

The production of sulphuric acid at Drury is a continuous process using the double contact double absorption process (Fig. 3.). The solid sulphur is melted into liquid sulphur using steam supplied from the steam boiler. The liquid sulphur is charged into the furnace through a jacketed steam pipe and is made to react with dried oxygen from the absorption tower. In the absorption tower, the liquid sulphur is converted to sulphur (IV) oxide gas, which is an exothermic reaction. Heat is generated; hence, this gas is made to pass through a waste heat boiler to reduce the temperature from 900 degrees centigrade to 400 degrees before passing through the first bed of the conversion chamber.

In the converter, sulphur (IV) gas is converted to sulphur (VI) oxide gas in the presence of vanadium pentoxide catalyst. The gas passes through a hot heat and cold heat exchanger, as well as an economizer, to regulate the heat and prevent it from burning the catalyst [6].

The sulphur (VI) oxide gas passes through an inter-pass absorption tower and a final absorption tower. This gas is used to concentrate the sulphuric acid in the acid production tank, resulting in oleum. The oleum is diluted with demineralized water to produce two molecules of concentrated sulphuric acid.

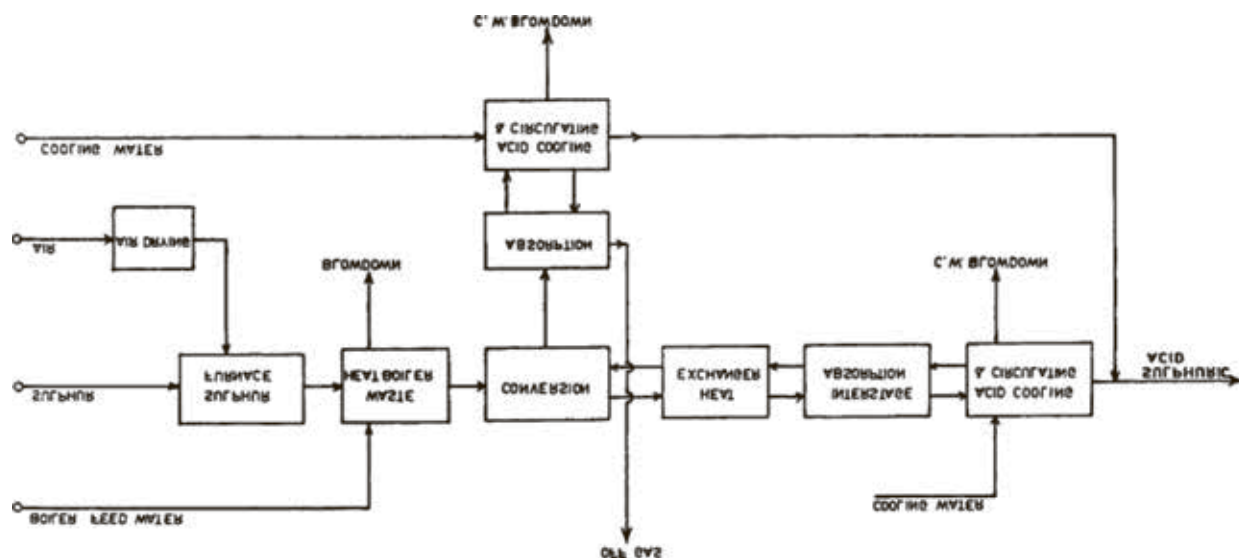


Fig. 3. « » » ° Рис. 3.

Aluminium Sulphate Process Description

Bauxite ore is fed into the feed end of the apron conveyor with the aid of a wheelbarrow. It is then charged into the crusher. The crushed ore is fed to the bucket elevator, which transfers the crushed ore to the mill feed hopper. In the grinding mill, the ore is ground to a fine powder with 80% passing through a 100-mesh sieve. The ground ore is then transferred through a cyclone to the ground bauxite hopper.

The flow from Thickener-2, collected in the leach liquor tank, is pumped to the leach liquor overhead tank for transfer to digester-1 for further enrichment with bauxite. The slurry from the bottom of Thickener-2 is transferred to Thickener-3 after dilution with water, if necessary. The slurry from the bottom of Thickener-3 is taken to one of the vacuum filters for filtration. The filtrate is returned to the leach liquor tank. The product liquor from the product liquor tank is transferred to the evaporator for concentration to about 16-17% Al_2O_3 content.

Steam is supplied to the steam coils provided in the evaporator. Once the desired density (concentration) of the alum is achieved, the mass is transferred to a cooling tray. The cooled product is then broken and further crushed into the desired size of 1-1/2 inches.

The process operation flowchart of Aluminium Sulphate at Drury is as shown in the follow Figure 4.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Water Quality

Water is one of the most abundant resources on Earth and has been used by humans in several ways: for drinking, household use, cooking, washing equipment, cooling, lubrication, conveyance of materials, steam boilers for heating, and industrial processes [7].

Water quality is an indication of the purity or health of the water resources based on the quantity of pollutants it contains. Water is considered safe when it contains no harmful chemicals, low numbers of coliforms or none at all, and only low levels of other chemicals that become harmful at higher concentrations to humans, other animals, plants, or their ecosystems [8]. Coliform bacteria are an index of contamination. The type of coliform, including *Escherichia coli*, will determine if the contamination is from fecal sources or recent.

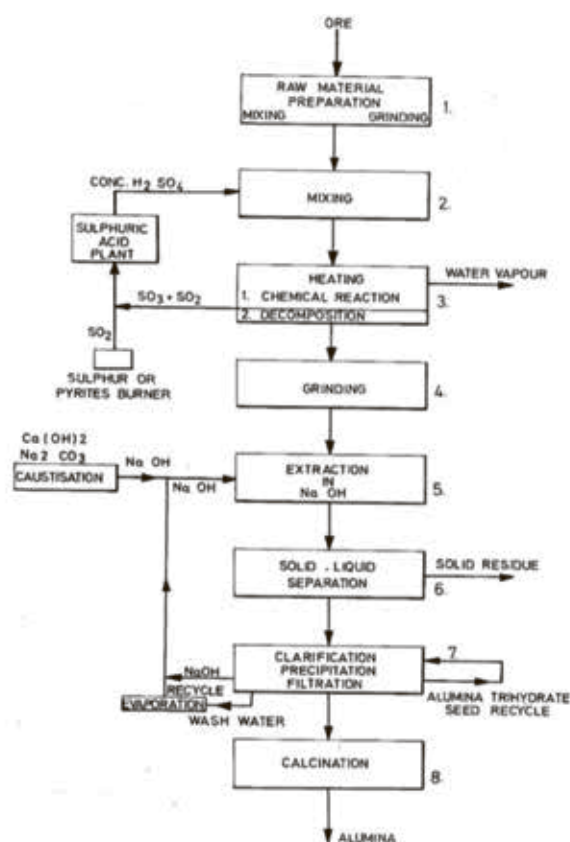


Fig. 4. « » » ° Рис. 4.

Water is necessary for life on Earth. All organisms contain it; some live in it and some drink it. Plants and animals require moderately potable water, and they cannot survive if their water is loaded with toxic chemicals or harmful microorganisms. If severe, water pollution can kill large numbers of fish, birds, and other animals and in some cases kill all members of a species in an affected area. Then people who ingest polluted water can become ill, and with prolonged exposure, may develop cancers or bear children with birth defects (congenital diseases).

It is quite amazing that the quality of water now available to humans has been adversely affected by activities such as urbanization and industrialization that have derived benefits

Continuation of table 2 / Продолжение таблицы 2

	° ° ° ° °
- - -	- © - - - » - - - - - » - - - - © - - - - © - - - »
	- - - - - - -
	-
-	- - - → - - - © © - - - » - ©
	- - - © - - © - - - © - - - © - - - - © - » - - -
	- - - - - ©
-	- » - - - - - » - -
	- -

Source: Nathanson, JA. (1197) Basic Environmental Toxicology (Prentice Hall, Upper Saddle River.

The results of the well water analysis are shown in Table 3.

Table 3 / Таблица 3

«		»		»	
	—		— — —	— ©	
			» — —	—	—
			»		—
	—				
	— »		» »		
	»		»		
	»		»		
?					
	—		— »		—
	—			?	
	—		— »		
	— —		— »		
	— — —		»		—
	— »		»		
	»		»	?	
	—		»		—
	—		»		—
?			»	?	—
	—		»		—
			»		—
	— — —		»		—
	—		»		—
			»		—
	—		»		—
			»		—
			»		—
	—		»		—
?			»		—
			»	?	—
			»		
	— —		—		
	— —		—		
	—		—		
			—		—

Comments: Majority of the analyzed parameters complied with NESREA specification for Ground water except pH.

The result of Drinking Water Analysis is shown in Table 4.

Table 4 / Таблица 4

«		°		»	
	--		-- --		
	—		» — —	—	—
			» — —	—	—
			»		
	—			?	
	»		»		
	»		»		—
?				?	?? ?
	—		— »		
	—				—
	—		— »		
	-- -- —		»		—
	—		»		
	—		»		—
			»		—
	—				—
	— »		»	?	
?	—		»		—
	— —		»	?	
	— —		»		
			»		—
			»		—
	-- --		»		—
			»		—
	—		»		—
	—		»		—
?			»		—
	—		»		—
			»	?	—
			»		—
			—		
	—		—		

*LIMIT: NIS 554:2015 - Nigerian Industrial Standard for Drinking Water.

Comments: Majority of the analyzed parameters complied with NIS specification for Drinking water except Total coliform count.

The result of Drainage of Wastewater is shown in Table 5.

Table 5 / Таблица 5

«		°		»	
	--		-- --	© —	
			» — —	—	
			»		
	—				
	— »		» »		
	»		»		

«		°		»	
	»		»		
,					
	—		— »		
	—				
	—		— »		—
	— —		— »		
	— — —		»		
	— »		»		—
	»		»	,	
	—		»		
	—		»		
,			»		—
	—		»		—
			»		—
	— —		»	,	—
	—		»		—
	—		»		
			»		
	—		»	,	—
			»	, ,	
	— —		»		—
					—
,			»	,	—
			»		—
			»		—
	»				
	— —		— »		—

*Limit - National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency (NESREA) National Environmental (Chemical, Pharmaceutical, Soap and Detergent Manufacturing Industries) Regulation, 2009 Schedule.

Comments: Majority of the parameters analyzed complied with NESREA specification for Effluent water except; pH, Total suspended, solid, Sulphate, COD and Total plate count.

Soil Quality Studies

Soil is not only a support for vegetation, but it is also the zone beneath our feet (the pedosphere) of numerous interactions between climate (water, air, temperature), soil life (micro-organisms, plants, animals), and its residues, the mineral material of the original and added rock, and its position in the landscape. During its formation and genesis, the soil profile slowly deepens and develops characteristic layers, called 'horizons', while a steady-state balance is approached. Soil contaminant or soil pollution is caused by the presence of xenobiotic (human-made) chemicals or other alterations in the natural soil environment. It is typically caused by industrial activity, agricultural chemicals, or improper disposal of waste. The most common chemicals involved are petroleum hydrocarbons, polynuclear aromatic hydrocarbons (such as naphthalene and benzo(a)pyrene), solvents, pesticides, lead, and other heavy metals. Contamination is correlated with the degree of industrialization and intensity of chemical usage.

The concern over soil contamination stems primarily from health risks, from direct contact with the contaminated soil, vapor from the contaminants, and secondary contamination

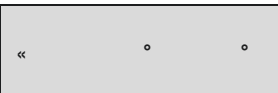
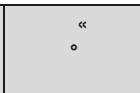
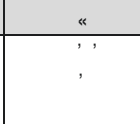
of water supplies within and underlying the soil. Mapping of contaminated soil sites and the resulting cleanups are time-consuming and expensive tasks, requiring extensive amounts of geology, hydrology, chemistry, computer modeling skills, and GIS in Environmental Contamination, as well as an appreciation of the history of industrial chemistry. The need, therefore, to monitor it in any environmental report has become imperative as established in the statutory regulatory guidelines and standards of FMEnv and NESREA [11].

As part of the statutory exercise, Roygbiv Analytical and Environmental Services Limited took soil samples from the predetermined location for monitoring and carried out the analysis in accordance with the reference guidelines/standards. The results of the analysis are hereby presented and discussed as follows.

Sampling

Soil samples were collected at a location adjacent to the Production Section in the factory (Table 6). Topsoil (0-15 cm) samples were taken with the aid of a 90 cm diameter Dutch soil auger, mixed to form a composite sample, and put into labeled (coded) aluminum foil and polythene bags.

Table 6 / Таблица 6

Methodology

The soil sample was analyzed for physico-chemical and microbiology parameters (Table 7).

Table 7 / Таблица 7

«	»	«	°
«		°	
	— — — 11		
	— —		
		— —	
	—		
	—		
	—		
	— » —	— — — »	
1	»	—	
	—	—	
	— » —		

Soil Texture

Soil texture is a property used to describe the relative proportion of different grain sizes of mineral particles in soil. These particles are grouped into soil separates, which include clay, silt, and sand (Table 8 - USDA Classification). The soil texture class, such as sand, clay, loam, etc., corresponds to a specific range of separate fractions. Coarse-textured soils have a high proportion of sand, medium-textured soils are primarily composed of silt, and fine-textured soils consist mainly of clay [12].

Table 8 / Таблица 8

	« « « «
	« « « «
—>>	—
	33
>> —	33
—	33
—	33
— —	33
>> — —	33

Results of Analysis

The results of physico-chemical analysis of the soil sample from the study area are presented in Table 9 below.

Table 9 / Таблица 9

«		°	« «	»	
	--		-- --	— © — — »	
	— »		— —	?	
	»				
	»			? ?	
	—		— »		
			— »		
	—»		— »		
?				?	
	— »		»		—
	— — —				
	— — —		?		
	—		—		
	—		»		—
	—		»		—
	—		»		—
	—		»	?	
?	—		»		—
			»		
	—		»		
				? ?	
					—
					—
					—

«		°		»	
	—				—
	—				—
1				1	—
	— — —		—	1	
	—		—		
	» — — —		—		
	» —		—		
	— —		—		

Discussion

(i) Particle Size Distribution: The result of the analysis of the soil texture (particle size distribution) of the soil sample collected during the study shows that the soil is basically sandy, as presented in Table 3.12 [3].

(ii) pH: The pH of the composite soil sample was 7.8. The value was within the FMEnv limit.

(iii) Conductivity: The conductivity of the composite soil sample was 0.04 mS, which was satisfactory when compared to the FMEnv limit. Hence, there is no indication that the conductivity of the soil in the study area has significantly been affected by their operations.

(iv) Exchangeable Cation and Anion: The exchangeable cations analyzed in the composite soil sample from the factory had the following values: Sodium (Na) 110.03 mg/kg, Potassium (K) 9.45 mg/kg, Calcium (Ca) 428.203 mg/kg, and Magnesium (Mg) 36.002 mg/kg.

Phosphate and Nitrate were present in the soil sample at levels higher than the specified limit of FMEnv, while Sulphate was within the specified limits. It could be attributed to the nature of the soil in the area.

(v) Soil Heavy Metals: The trace metals in the composite soil sample were generally at low concentrations, as are normally found in the composite soil sample of the ambient soil environment and when compared with the statutory limit of the FMEnv Regulations.

Iron (Fe) (a corrosion indicator metal) concentration was 288.201 mg/kg. The following toxic metals: Lead (Pb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn) had concentrations of 8.84 mg/kg, 0.056 mg/kg, 0.658 mg/kg, 0.00 mg/kg, 12.80 mg/kg, and 0.02 mg/kg for sample location, respectively.

Conclusion on Soil Study

The pH, conductivity, exchangeable cations and anions, and heavy metals of the soil sample collected within the premises of the factory were generally at low concentrations, as are normally found in the area. Hence, the soil result does not elicit any cause for concern.

Impact and Compliance Evaluation

The real and potential impacts of the operations of the factory on the environment are through the following:

Wastewater

The wastewater is generated from process, utilities, and cloakroom. The black water from toilet is channeled into septic tanks. The tanks are evacuated when required by OGWAMA accredited waste managers to appropriate waste dumpsite.

The result of wastewater analyzed revealed low pH, high total suspended solids, sulphate, COD, and total plate count as against the effluent limitation standard for disposal into the environment.

The quality of wastewater discharged should be improved by installing Effluent Treatment Plant (ETP) for proper treatment of wastewater or immediately implementing the wastewater recovery plan to prevent further discharges into the environment [13].

The quality of the drainage wastewater should be monitored monthly by an accredited environmental consultant and results submitted to NESREA and OGEPA.

Solid Waste

Solid wastes generated would cause a mild adverse impact on land based on the management strategies. Please see table 4.1 and 4.2 for details. Solid waste streams are properly disposed of by OGWAMA assigned waste managers to government approved dumpsite.

Recommendation:

Standard central waste collection point with concrete base and shed should be constructed at a designated location within the factory.

Handling and storage of alum sludge should be improved upon by installing shed over the sludge storage unit.

Management should ensure prompt evacuation of solid waste by OGWAMA waste manager.

Routine tracking of the waste collected from factory premise is part of the responsibilities of the Drury to ensure proper disposal at designated dumpsite.

Air Quality

Gaseous emissions from the machineries would have a negative impact on the environment if not responsibly managed.

From the result of analysis and field studies carried out during the exercise, it was observed that there is likelihood of accumulation of particulate matter in the area. PM10 and Total Particulate Matter (TPM) values in most locations in the factory were lower than the FMEnv/NESREA specification of 50 mg/Nm³ except at the Alum Plant (Milling, Crushing/Bagging unit) and Acid plant (Sulphur melting unit). These were however, localized to a large extent within the areas of generation. Meanwhile air quality survey of strategic locations within the factory indicated that most of the parameters analyzed for were within statutory limits. Please see tables 3.6 and 3.7 for details.

Recommendation:

Required and basic PPE must be mandated for use in the production area.

Pollution control abatement should be regularly serviced.

Noise

Noise generation in the factory would have a significant negative impact on the staff if appropriate control measures were not put in place. Noise levels in most of the locations within production floors were within FMEv/NESREA specifications except at the Boiler house and Generator house which were above the limit.

Recommendation:

The unit should be tagged high noise area.

PPE should be mandated for use in the area.

Generators and boilers should be regularly serviced.

The generator should be installed on the dampers to reduce vibration and noise.

Environmental Monitoring Plan and Implementation

The overall objective of (performance) monitoring shall be to identify any unanticipated changes to the biophysical, health and social environment brought about by Drury Industries Limited operational activities.

Drury shall ensure that deviations from baseline and research findings beyond reasonable limits shall trigger corrective actions so that monitoring becomes a dynamic activity as opposed to a passive collection of data.

This environmental monitoring plan has been formulated with the aim of ensuring that all the identified significant impacts from the project are mitigated to as low as reasonably possible and that key performance indicators are monitored periodically to track how effectively mitigation measures are implemented. It specifies the mitigation measures, monitoring requirements, duration and frequency of the monitoring, action parties to manage the biophysical, social and health environment at the various phases of the project and the financial implications [14].

The plan relates to the handling of hazardous materials and wastes, emission and discharge monitoring, site inspection and auditing, adverse weather preparedness, and decommissioning. In formulating this plan, Drury Industries Limited ensured that the plan takes account of national and international standards for (environmental) planning, such as the ISO, HSE-MS, NESREA

and FMEv Regulatory control measures and self-imposed standards. The national regulatory agencies in conjunction with the relevant states and local government authorities shall conduct routine impact mitigation monitoring visits as and when due [15].

Generally, «Green Auditing», an umbrella term, also known as «Environmental Auditing» should be adopted to secure the health safety and optimize productivity of most establishments. The ‘Green Audit’ aims to analyze environmental practices within and outside the appropriate establishments, which will have an impact on the eco-friendly ambience to sustain economic growth [16].

Conclusion

In conclusion, the recommendations outlined highlight the necessity for Drury Industries Limited to adopt a proactive approach in managing noise and environmental impacts associated with its operations.

By designating the unit as a high-noise area and mandating the use of personal protective equipment (PPE), the company can significantly enhance worker safety and well-being. Regular servicing of generators and boilers, along with installing dampers to mitigate vibrations, will further reduce noise pollution and promote a healthier work environment.

The proposed Environmental Monitoring Plan is crucial for tracking the impacts of operational activities on the biophysical, health, and social environments. By establishing a dynamic monitoring system that triggers corrective actions for any deviations beyond acceptable limits, Drury Industries will ensure that environmental management is an ongoing, responsive process rather than a static obligation.

Ultimately, adopting a «Green Auditing» approach will not only safeguard the health and safety of personnel but also optimize productivity and foster a sustainable operational model. This commitment to environmental stewardship aligns with national and international standards, ensuring compliance and contributing to the broader goal of eco-friendly economic growth.

REFERENCES

1. Gowri S, Hari Krishnan V. Green computing: Analyzing power consumption using local cooling. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2014;15(3):105-107.
2. Conde MC, Sanchez JS. The school curriculum and environmental education: A school environmental audit experience. *International Journal of Environmental & Science Education*. 2017;5(4):477-494.
3. Nkang A. Final Report E2924 V3 “Environmental and Social Management Plan for Ikot Ekpo Erosion Gully Site, Calabar, Cross River State (Under the Nigeria Erosion and Watershed Management Project: Newmap)”. 2014, 187 p. (<https://documents1.worldbank.org/curated/en/581251468144908083/pdf/E29240V30P124900Box385304B00PUBLIC0.pdf>)
4. Final Report E1576 V9 “Environmental Management Plan (Emp) for the Periodic Maintenance of Okpala - Igirita Road, Federal Government of Nigeria”. 2010, 131 p. (<https://documents1.worldbank.org/curated/en/493381468072530851/pdf/E15760V90P090110Box358283B01PUBLIC1.pdf>)
5. Shamsadini K, Askari Shahamabad M, Askari Shahamabad F. Analysis of factors affecting environmental audit (EA) implementation with DEMATEL method. *Social Responsibility Journal*. 2023;19(5):777-796. doi: 10.1108/SRJ-03-20210097
6. Rakova B, Dobbe R. Algorithms as Social-Ecological-Technological Systems: An Environmental Justice Lens on Algorithmic Audits. In *Proceedings of FAccT '23: 2023 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*. 2023:18. doi: 10.48550/arXiv.2305.05733
7. Zhan Z, Cantono M, Kamalov V. et al. Optical polarization-based seismic and water wave sensing on transoceanic cables. *Science*. 2021;371(6532):931–936. doi: 10.1126/science.abe6648
8. Akinyemi ML, Usikalu MR. Investigation of carbon monoxide concentration from anthropogenic sources in Lagos, Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*. 2013;8(21):1128-1132. doi: 10.5897/IJPS12.661
9. Erlygina E. Environmental Audit. *Bulletin of Science and Practice*. 2022;8(11):423–427. (In Russ.). doi: 10.33619/2414-2948/84/53
10. Monteiro CS, Coelho L, Barbosa SM, Guimarães D. Development of a New System for Real-Time Detection of Radon Using Scintillating Optical Fibers. *Proceedings of the 26th International Conference on Optical Fiber Sensors*, OSA Technical Digest (Optica Publishing Group, 2018), paper WD5.
11. Yekimov S, Prodius O, Chelombitko T, et al. Reengineering of agricultural production based on digital technologies. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2022;981:032005. doi: 10.1088/1755-1315/981/3/032005

12. Wang W, Xue X, Chen W, Xue X. Study on the characteristic mechanisms of infrasonic precursors during the damage process of impending earthquake sources. *PLoS ONE*. 2021;16:e0257345. doi: 10.1371/journal.pone.0257345
13. Marchik TP, Tarasenko LN. Analysis of the impact of the construction materials plant on the environment. *Bulletin of the Yanka Kupala Grodno State University. Episode 5. Economy. Sociology. Biology*. 2020;10(3):159-166. (In Russ.).
14. Kumar A, Kim H, Hanckle GP. Environmental Monitoring Systems. *IEEE Sensors Journal*. 2013;13(4):1329-1339. doi: 10.1109/JSEN.2012.2233469
15. Environmental Impact Assessment (EIA) of The Proposed Construction and Establishment Of 18" X 60km Natural Gas Pipeline from Ogere to Ibadan Toll Gate. Nipco Gas Limited. 2022, 319 p. (<https://ead.gov.ng/wp-content/uploads/2023/01/EIA-NIPCO-GAS-PIPELINE-1-OGUN-OYO-SITE-2022-done.pdf>)
16. Hichri A. Integrated reporting, audit quality: presence of environmental auditing in an international context. *European Business Review*. 2023;35(3):397-425. doi: 10.1108/EBR-03-2022-0044
17. Fauziah F. Internal Audit Procedure on Environmental Management to Minimize Impact of Environmental Damage (Case Study at PT. Wonojati Wijoyo Kediri). *Journal of economics, finance and management studies*. 2023;6(6):2629-2633. doi: 06. 10.47191/jefms/v6-i6-23

ABOUT THE AUTHORS

Abdulrahman Babatunde Ameen -

Roygbiv Analytical and Environmental Services Limited, Suite No. 5 Abdulsalam Shopping Complex off Hajj Camp Road Ilorin, Kwara State, Nigeria, e-mail: ambabs4real@yahoo.co.uk, project2023@zohomail.com

Olajide Adebayo Ajayi -

Adekunle Ajasin University, Department of Microbiology; Centre for Infectious Disease Control and Drug Development (CIDCDD) AAUA, Akungba-Akoko, Ondo State, Nigeria, e-mail: olajide.ajayi@aaua.edu.ng

Akindele Olusola -

Roygbiv Analytical and Environmental Services Limited, Suite No. 5 Abdulsalam Shopping Complex off Hajj Camp Road Ilorin, Kwara State, Nigeria

Contribution:

The personal contribution of each author is integrated into the overall work.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 23.11.2024.

Revised: 04.12.2024.

Accepted: 11.01.2025.

Изменение содержания компонентов в скв. № 7 Эссовского месторождения по годам

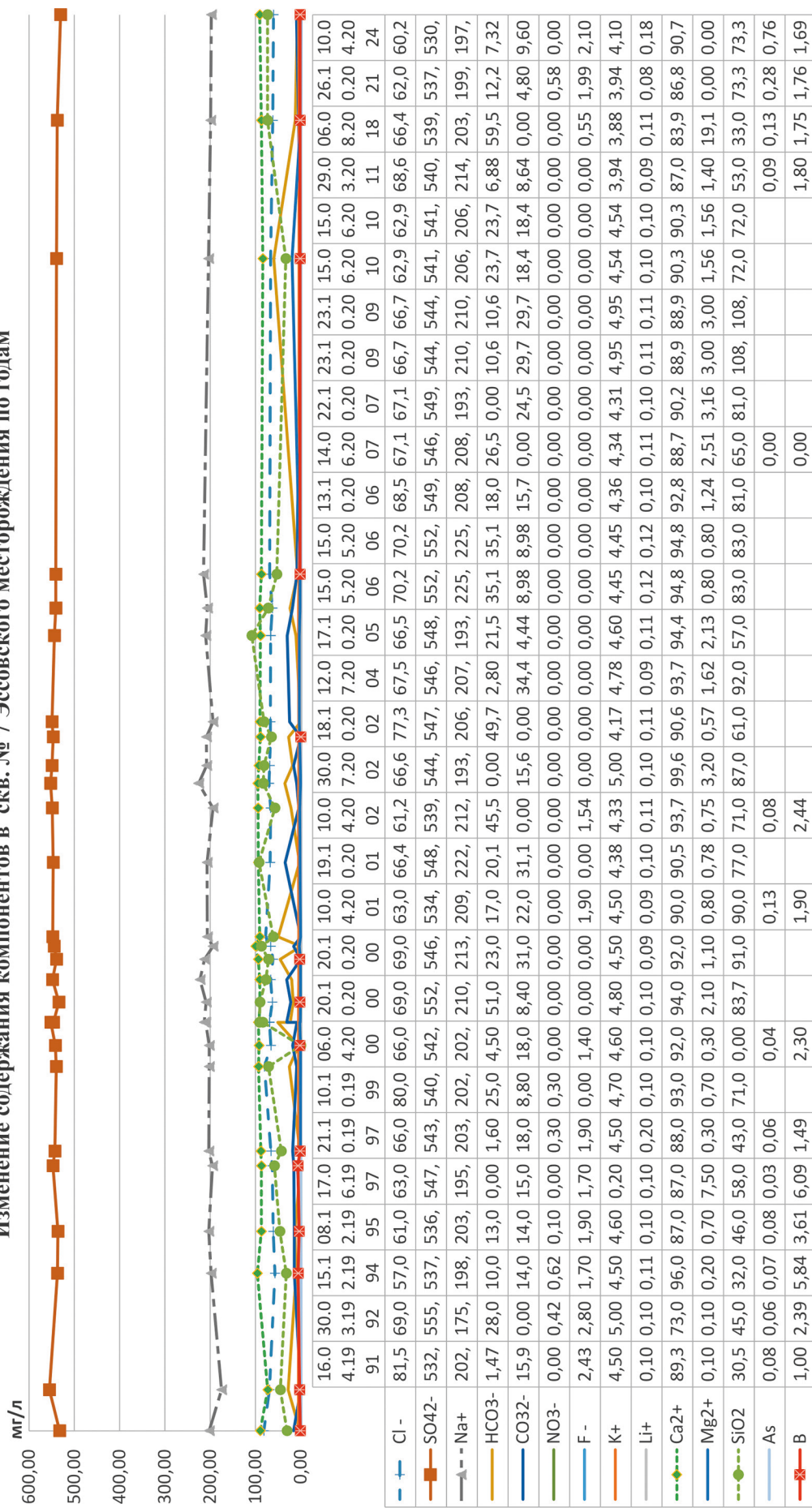


Рис. 3. Изменение содержания компонентов в воде скважины № 7 Эссовского гидротермального месторождения, мг/дм³ (данные предоставлены АО «Тепло Земли») / Fig. 3. Changes in the content in the water of well No. 7 of the Essovsky hydrothermal field, mg/dm³ (data provided by the operating organization JSC «Heat of the Earth»).

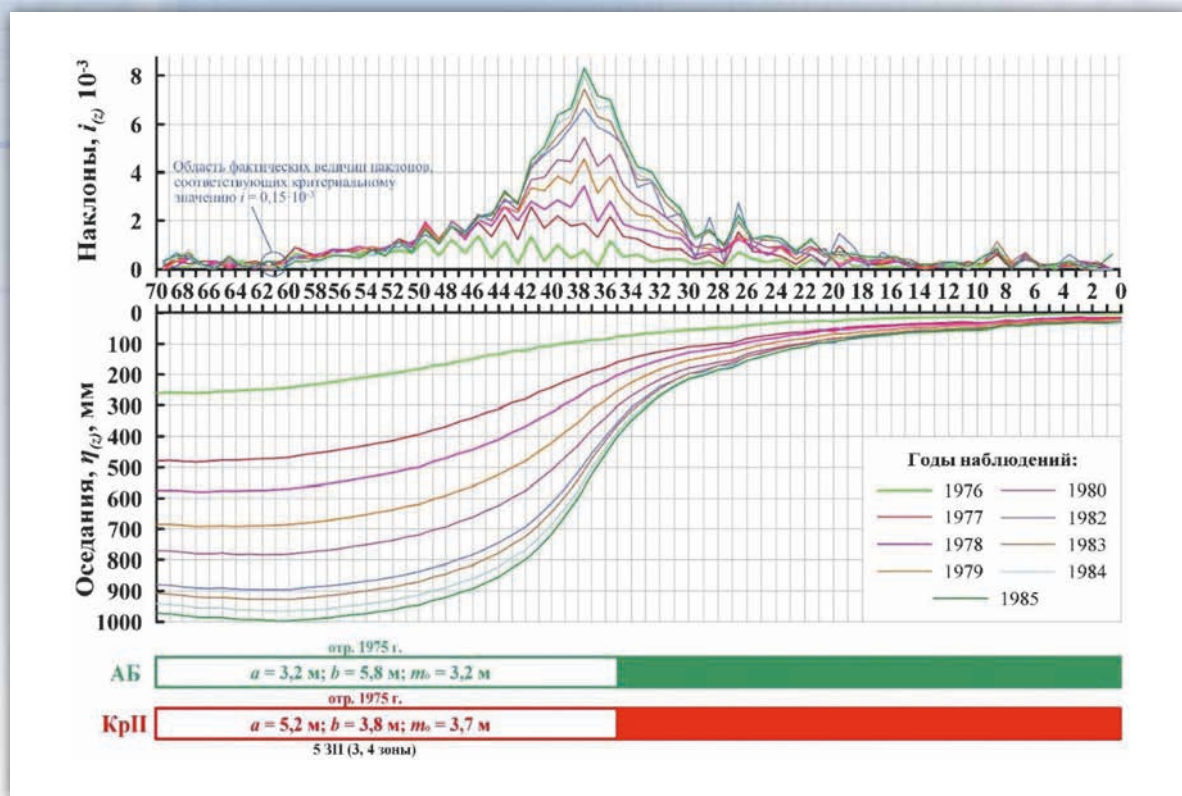


Рис. 2.

Fig. 2. «

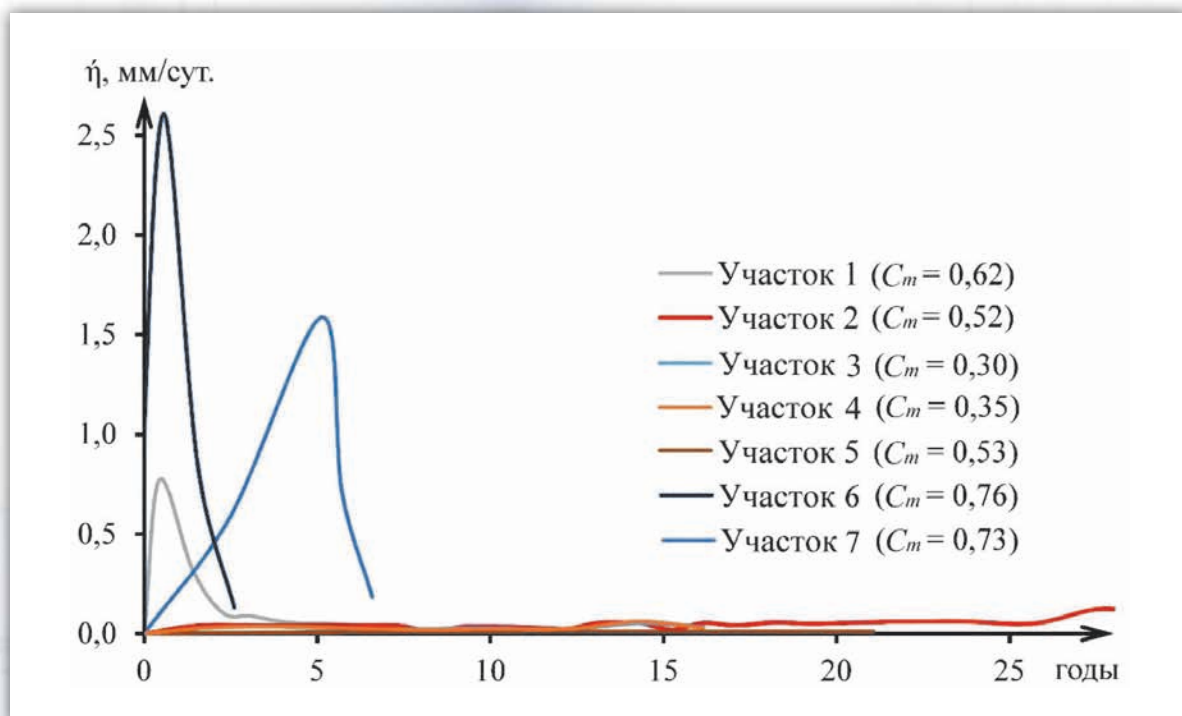


Рис. 3.

Fig. 3. »



**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО
ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА
Н.В. МЕЛЬНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**Институт проблем комплексного освоения недр им. Академика
Н.В. Мельникова Российской академии наук оказывает
консалтинговые услуги
по научно-техническому сопровождению проектной
документации**

в ФАУ «ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ»

Научно-техническое сопровождение осуществляется при экспертизе результатов инженерных изысканий, технической части проектной документации, а также при проверке достоверности определения сметной стоимости объектов капитального строительства.

В рамках научно-технического сопровождения возможно выполнение следующих видов работ:

1. Научная экспертиза принятых проектных решений.
2. Аудит проектной документации (ПД).
3. Выдача рекомендаций по корректировке ПД.
4. Корректировка пакета документов в соответствии с постановлением Правительства РФ №87 от 02.08.2008 года «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» для сдачи ПД в ФАУ «Главгосэкспертиза России» и сопровождение ПД при процедуре входного контроля.
5. Консультации по подготовке ответов на замечания экспертов ФАУ «Главгосэкспертиза России».
6. Консультации по разработке Специальных технических условий.

Контакты

111020, г.Москва, Крюковский туп., д.4

www.ипконран.рф | www.ipkonran.ru

+7 (916) 303-41-91

+7 (495) 360-89-60

ipkon-dir@ipkonran.ru



Ю. С. Щегольников✉

ПАО «Уралкалий», 618426, г. Березники, Российская Федерация

✉ rabota.shegolkov@mail.ru

Аннотация. В основе оценки безопасности объектов, подрабатываемых подземными горными работами, а также планируемых к строительству над отработанными участками шахтных полей, лежит расчет ожидаемых деформаций. Для достоверного определения последних в случае отсутствия инструментальных наблюдений над рассматриваемым участком шахтного поля высокой значимостью обладает вопрос обоснования величин углов полных сдвижений ψ и максимальных оседаний θ .

В настоящее время на практике углы θ не используются в явном виде, а фиксированные величины углов ψ не всегда позволяют достоверно вычислить длину полумульды сдвижения и, как следствие, правильно рассчитать ожидаемые деформации. Основной целью настоящей работы является обоснование углов ψ и θ для условий отработки запасов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, а также в случае целесообразности установление зависимостей, их определяющих.

В ходе проведенного исследования выявлено, что углы полных сдвижений ψ в условиях однородности строения геомеханической системы не склонны к значительным изменениям во времени и зависят главным образом от параметра степени нагружения междукамерных целиков C . Найдена причина возможного уменьшения величин ψ в условиях неоднородности строения геомеханической системы. Определено, что величины углов максимальных оседаний θ могут отличаться от 90° . Обоснованы значения и установлены математические модели для исследуемых углов ψ и θ , а также уточнены коэффициенты условия полной подработки.

Ключевые слова: углы полных сдвижений, углы максимальных оседаний, полная подработка, неполная подработка, сдвижение, мульда, безопасность подрабатываемых объектов

Благодарность: Автор выражает глубокую признательность академику РАН, д-ру техн. наук А. А. Баряху и канд. техн. наук Л. О. Тенисон за ценные советы и рекомендации.

Для цитирования: Щегольников ЮС. Оценка величин углов полных сдвижений и углов максимальных оседаний в условиях отработки запасов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 61-70. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-61-70>.

Yu. S. Shchegolkov✉

PJSC «Uralkali», 618426, Berezniki, Russian Federation

✉ rabota.shegolkov@mail.ru

Abstract. The safety assessment of objects developed by underground mining operations, as well as those planned for construction over developed sections of mine fields, is based on the calculation of expected deformations. For a reliable determination of the latter, in the absence of instrumental observations over the section of the mine field under consideration, the issue of substantiating the values of the angles of total displacement ψ and maximum subsidence θ is of great importance.

At present, in practice, the angles θ are not used explicitly, and fixed values of the angles ψ do not always allow for a reliable cal-

culation of the length of the semi-trough of displacement and, as a consequence, for a correct calculation of the expected deformations. Taking into account the above, the main objective of this work is to substantiate the angles ψ and θ for the conditions of development of the reserves of the Verkhnekamskoye potassium-magnesium salt deposit, and, if appropriate, to establish the dependencies that determine them. The study revealed that the angles of total displacements ψ under conditions of homogeneity of the geomechanical system structure are not prone to significant changes over time and depend mainly on the parameter of the degree of loading of inter-chamber pillars C . The reason for the possible decrease in the values of ψ under conditions of heterogeneity of the geomechanical system structure was found. It was determined that the values of the angles of maximum subsidence θ may differ from 90° . The values are substantiated and mathematical models are established for the studied angles ψ and θ , and the coefficients of the condition of complete undermining are clarified.

Keywords: angles of total displacements, angles of maximum subsidence, complete undermining, incomplete undermining, displacement, trough, safety of undermining objects

Gratitude: The author expresses deep gratitude to Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences Baryakh A.A. and to Candidate of Technical Sciences Tenison L.O. for valuable advice and recommendations.

For citation: Shchegolkov YuS. Assessment of the values of total shifts angles and maximum subsidence angles in conditions of mining reserves of the Verkhnekamskoe deposit of potassium-magnesium salts. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):61-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-61-70>.

Введение

Развитие процесса сдвижения под воздействием подземной отработки запасов способно оказывать существенное отрицательное влияние на подрабатываемые поверхностные объекты [1–7]. Мерой количественной оценки упомянутого влияния в соответствии с требованиями действующего нормативного документа [8] являются величины ожидаемых вертикальных (наклон $i(z)$, кривизна $K(z)$), радиус кривизны $R(z)$ и горизонтальных деформаций $\varepsilon(z)$. В случае отсутствия инструментальных наблюдений над анализируемым участком шахтного поля для определения величин $i(z)$, $K(z)$, $R(z)$ и $\varepsilon(z)$ необходим расчет длины полумульды L , в основе которого среди прочих параметров лежат углы ψ или θ .

Использование какого-либо из углов ψ или θ обусловливается различиями формы мульды сдвижения, соответственно, при полной и неполной подработках земной поверхности. Первая наблюдается, когда увеличение размеров выработанного пространства D способствует росту величины максимального оседания η_m , местоположение которого относительно центральной части отработанного участка определяется углом максимальных оседаний θ . Вторая возникает при достижении размеров выработанного пространства D определенной величины, после которой дальнейшего увеличения максимального оседания η_m не происходит, а образуется так называемое плоское дно мульды, которое ограничивается углами полных сдвижений ψ . В настоящее время на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей (ВКМКС) условие подработки земной поверхности определяется на основании параметра χ , представляющего собой отношение размера D к глубине разработки до почвы нижнего отрабатываемого пласта H . Применительно к отдельно взятому главному сечению мульды сдвижения условию неполной подработки соответствует значение параметра $\chi < 2 \operatorname{ctg} \psi = 1,4$. При величине $\chi \geq 2 \operatorname{ctg} \psi = 1,4$ подработка характеризуется как полная.

Опираясь на содержание действующих «Указаний» [8], уместно отметить, что на сегодняшний день при расчете длины L используются фиксированные величины углов полных сдвижений $\psi = 55^\circ$ и не используются углы максимальных оседаний θ . Вместо последних применяется угол сдвижения в условиях неполной подработки ψ_0 , который по смысловой нагрузке соответствует некому аналогу угла полных сдвижений, а его расчет основывается на значении параметра χ .

Анализируя ранее действующие на ВКМКС «Указания» и «Инструкции», периодически издаваемые начиная с 1960 года, можно заметить постоянство регламентированных величин углов $\psi = 55^\circ$ (исключение составляют «Указания» 1976 года, где величина ψ составляла 50°). Углы максимальных оседаний встречались в «Указаниях» с 1976 по 1994 год, а их значение составляло $\theta = 90^\circ$. Несколько позже, в «Указаниях» 2008 года, был введен ранее упомянутый угол ψ_0 . Вследствие принятого допущения об условно горизонтальном залегании калийно-магниевого залежи классификации величин ψ , θ и ψ_0 по фактору угла падения промышленных пластов не приводилось ни в одной из версий нормативного документа.

При анализе результатов инструментальных наблюдений на различных участках шахтных полей рудников г. Березники и Соликамска было замечено, что фактические величины углов полных сдвижений ψ могут значительно отличаться от 55° , что находит отражение в правильности вычислений длин полумульд сдвижения L и, как следствие, в достоверности расчетов ожидаемых деформаций. Опираясь на изложенное, можно сделать вывод о необходимости поиска зависимости углов ψ от основных возможных влияющих факторов. Относительно угла ψ_0 справедливо заметить, что он введен в расчет длины полумульды как промежуточный этап вычислений и может быть заменен углом максимального оседания θ . Последний в настоящее время не используется на практике в явном виде и его величина требует дополнительного обоснования.

Материал и методы исследования

Исходным материалом для проведения исследования послужили результаты инструментальных наблюдений за процессом сдвижения земной поверхности, данные геологической разведки, цифровые планы шахтных полей с параметрами системы разработки, нормативные документы «Инструкции» и «Указания», издававшиеся для ВКМКС начиная с 1960 года по настоящее время.

В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ литературных данных и нормативной документации по рассматриваемой проблеме, отбор и анализ данных инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности, аналитическую обработку исходной информации, а также регрессионный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Перед проведением исследования немаловажным вопросом является выбор и обоснование характерных геомеханических условий, в рамках которых будут учитываться анализируемые угловые параметры процесса сдвижения. Рассматривая сформированную на ВКМКС геомеханическую систему в широком смысле, можно отметить, что в целом подработку земной поверхности правильнее считать комбинированной, то есть состоящей из отдельных участков полной и неполной подработок, впоследствии сочетающихся в результирующую суммарную форму проявления сдвижений, типовой пример которой представлен на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что общая форма проявления сдвижений сформирована от участка отработки значительных размеров $D \approx 3,4 H$, однако при этом отсутствует видимое плоское дно мульды оседания, по форме соответствующий условию неполной подработки. Это объясняется прежде всего неоднородностью сформированной геомеханической системы, а также различными сроками отработки запасов и закладки выработанного пространства. Таким образом, мульда сдвижения на ВКМКС характеризуется сложной формой, изменяющейся во времени на разных ее участках по различным законам, что также ранее отмечалось в работах М. П. Нестерова, Н. Ф. Аникина, А. В. Львовой и других [9–14]. Вышеописанное обстоятельство в совокупности со смысловой нагрузкой исследуемых угловых параметров [15–19] позволяет устанавливать последние лишь на отдельных интервалах результирующей формы проявления сдвижений, среди которых главным образом выделяются краевые части, то есть участки, непосредственно примыкающие к постоянным границам выработанного пространства, которым и будет уделено основное внимание в рамках настоящей работы.

Для отмеченных участков можно выделить три основные возможные геомеханические ситуации:

1. Условия относительной однородности строения геомеханической системы от постоянной границы выработанного пространства до области плоского дна мульды сдвижения. В рассматриваемых условиях количество отрабатываемых пластов, сроки и параметры отработки запасов в зоне, непосредственно примыкающей к постоянной границе выработанного

пространства, будут близко соответствовать смежным зонам, что создает предпосылки для равномерного развития процесса сдвижения вдоль краевой части мульды.

2. Условия, при которых зоны, непосредственно примыкающие к постоянным границам выработанного пространства (границные зоны или зоны смягчения), характеризуются более поздними сроками отработки запасов, и/или меньшими расчетными значениями показателей степени нагружения оставляемых междуканальных целиков C , и/или меньшими суммарными максимальными оседаниями $\sum \eta_m$ относительно остальной совокупности смежных с ними зон. Описанный случай наиболее часто встречается на практике вследствие необходимости формирования у постоянных границ выработанного пространства «зон смягчения», или «границных зон» (согласно требованиям «Указаний» различных лет), обеспечивающих некоторое сглаживание и удлинение полумульды мульды сдвижения, что находит отражение в уменьшении углов полных сдвижений ψ .

3. Условия, при которых размеры граничной зоны недостаточны для независимого формирования полумульды сдвижения с выраженным плоским дном и параметры отработки запасов в ней, будут обеспечивать более низкую устойчивость геомеханической системы и, как следствие, более высокую интенсивность развития процесса сдвижения относительно смежных зон. Рассматриваемый случай довольно редко встречается на практике. В описанных условиях не происходит формирования выраженного плоского дна мульды и пропадает целесообразность практического использования углов полных сдвижений ψ .

Принимая во внимание вышеизложенное, справедливо заметить, что первые две из вышеперечисленных геомеханических ситуаций тематически относятся к вопросу исследования углов полных сдвижений ψ . Третья ситуация сопряжена с необходимостью использования углов максимальных оседаний θ . При этом область практического использования последних распространяется и на другие возможные ситуации, например на участки неполной подработки, характеризующиеся значительно большей интенсивностью развития процесса сдвижения относительно смежных с ними зон, или на отдельные локальные участки небольших размеров, заключенные между оставленными предохранительными целиками различного назначения.

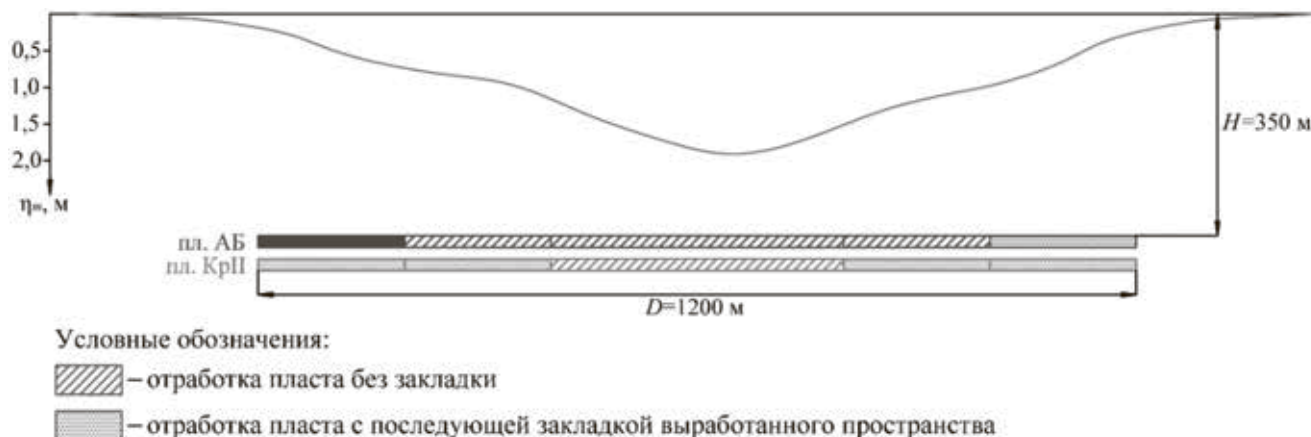


Рис. 1.

Обоснование величин углов полных сдвижений

Исследование углов полных сдвижений ψ целесообразно начать с анализа фактических их величин в рамках первой из вышеперечисленных геомеханических ситуаций. Для этого на шахтных полях рудников ВКМКС были отобраны семь локальных участков, над которыми с момента, близкого к началу отработки запасов, проводились систематические инструментальные наблюдения за процессом сдвижения земной поверхности.

Определение величин углов полных сдвижений ψ_i на различные даты инструментальных наблюдений производилось из зависимости

$$\psi_i = \arctg \frac{H_i}{Z_{ti}}, \quad (1)$$

где H_i – глубина разработки, соответствующая среднему расстоянию от земной поверхности до почвы нижнего отрабатываемого пласта на рассматриваемом участке шахтного поля, м; z_{ii} – абсцисса границы плоского дна мульды на рассматриваемую дату наблюдений с началом отсчета от границы горных работ, пересекаемой профильной линией, м.

При определении абсциссы z_n высокую значимость имеет правильный выбор критериев границы плоского дна мульды. В соответствии с работой [20] в качестве основного критерия принята величина наклона $i = 0,15 \cdot 10^{-3}$, учитываемая в «области максимальных оседаний».

В случаях, когда профильная линия пересекала постоянную границу выработанного пространства в направлении, близком к ортогональному, рассматривалась проекция ее реперов на вертикальный разрез, проходящий перпендикулярно к рассматриваемой границе.

Произведенные вычисления показали выраженное постоянство во времени численных значений углов ψ , на каждой из рассмотренных наблюдательных станций. Для наглядного отображения сказанного на рисунке 2 (см. цв. вклейку на стр. 58) целесообразно привести один из рассмотренных разрезов сдвижений и деформаций за период с 1976 по 1985 год.

Принимая во внимание выделенную на рисунке 2 область фактических величин наклонов, соответствующих критерию $i = 0,15 \cdot 10^{-3}$, справедливо отметить близость вычисленных углов ψ , что в рассматриваемом случае определяет целесообразность нахождения среднего значения угла полных сдвижений $\psi_{\text{ср.}}$. Аналогичный подход к определению величины $\psi_{\text{ср.}}$ справедлив и для остальных наблюдательных станций.

Для первичного анализа вычисленных величин углов полных сдвижений $\psi_{\text{ср.}}$ информацию о них целесообразно дополнить численными показателями основных возможных влияющих факторов.

Опираясь на ранее изложенное обоснование выбора основных наиболее значимых факторов применительно к исследованию величин граничных углов [21], а также учитывая вышеупомянутое постоянство значений ψ_i , свидетельствующее о потенциальном влиянии на их формирование факторов, несклонных к значительным изменениям во времени, для настоящего исследования определены актуальные параметры:

- количество обрабатываемых пластов;
- расчетные значения максимальных оседаний η_m ;
- степени нагружения оставляемых целиков C ;
- средние углы залегания отработанных пластов α ;

– средние глубины разработки $H_{\text{кр.ср.}}$ до кровли верхнего отработываемого пласта;

– суммарные мощности слоев (более 5 м) слабых $\sum m_{\text{сп.}}$ (наносы, глины в ТКТ и ПЦТ) и крепких $\sum m_{\text{кп.}}$ (от 5 до 8) пород в разрезе надсолевой толщи.

Полученный массив данных представлен в таблице.

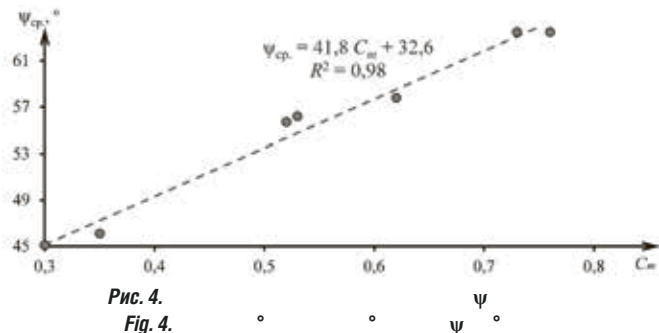
Таблица / Table

[illegible]

Из таблицы 1 видно, что вычисленные углы $\psi_{\text{ср.}}$ имеют разброс от 45° до $63,5^\circ$, среднее их значение составляет $\underline{\psi}_{\text{ср.}} = 55,4^\circ$, что близко к величине 55° , регламентируемой различными версиями «Указаний». Относительные ошибки отклонения величин $\psi_{\text{ср.}}$ от $\underline{\psi}_{\text{ср.}}$ равны $\epsilon_{\text{ср.}} = 10,7\%$, $\epsilon_{\text{макс.}} = 22,8\%$. Опираясь на данные таблицы 1, нельзя отметить наличия какой-либо выраженной взаимосвязи величин углов $\psi_{\text{ср.}}$ с факторами $H_{\text{кр.}}$, $\sum \eta_{\text{м.}}$, α , $\sum m_{\text{сн.}}$, $\sum m_{\text{кп.}}$, что отчасти может объясняться малой размерностью сформированного массива данных. Прямая оценка влияния степени нагружения оставленных междуканальных целиков C осложнена различными значениями рассматриваемого показателя на отработываемых пластах. Для решения этой проблемы параметр C уместно рассмотреть как один из основных факторов, определяющих интенсивность разрушения геомеханической системы и формирующих скорость развития процесса сдвижения $\dot{\eta}$ над рассматриваемым участком отработки запасов. С учетом изложенного для анализируемых профилейных линий на рисунке 3 (см. вкл. на стр. 58) отразим скорости развития процесса сдвижения по данным первого из реперов, попадающих в границу плоского дна мульды.

Анализируя рисунок 3, можно заметить, что участки шахтных полей с наибольшими величинами рассчитанных углов полных сдвижений $\psi_{\text{ср.}}$ характеризуются высокими скоростями оседаний $\dot{\eta}$ и наличием активной стадии погашения пустот выработанного пространства в первые 5 лет с момента начала отработки запасов. Наименьшие величины углов $\psi_{\text{ср.}}$ характеризуются планомерным развитием про-

цесса сдвижения без наличия активной стадии. Описанное свидетельствует о потенциальной возможности установления зависимости углов полных сдвижений ψ от наибольших показателей степени нагружения C_m среди пластов в анализируемых зонах. Поиск такой зависимости наиболее удобно выполнить на основе корреляционного поля показателей $\psi_{\text{ср.}}$ и C_m , которое отражено на рисунке 4.



Из рисунка 4 видно, что полученная зависимость углов полных сдвижений при $C_m \in [0,30; 0,75]$ соответствует выражению $\psi = 41,8 C_m + 32,6$, которое характеризуется высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,98$. Относительные ошибки отклонения фактических величин $\psi_{\text{ср.}}$ от расчетных значений $\psi_{\text{расч.}}$ составляют $\epsilon_{\text{ср.}} = 1,5\%$, $\epsilon_{\text{макс.}} = 2,6\%$. Сказанное позволяет считать полученную зависимость приемлемой для практического использования в границах обозначенного интервала, однако, принимая во внимание малую размерность исходного массива данных, формируется необходимость в последующих ее корректировках с учетом получения новых результатов инструментальных наблюдений над участками отработки запасов, соответствующих рассматриваемым условиям.

Для степеней нагружения, соответствующих условиям $C_m < 0,30$ и $C_m > 0,75$, вследствие недостатка имеющихся данных уместно временно ограничиться фиксированными значениями углов полных сдвижений $\psi = 45^\circ$ и $\psi = 64^\circ$ соответственно. Обозначенные величины нуждаются в уточнении после накопления необходимых данных.

Опираясь на вышеизложенное, можно скорректировать коэффициент χ , характеризующий условие полной подработки:

- $\chi > 2 \text{ ctg } 45^\circ = 2,00$ (при $C_m < 0,30$);
- $\chi \geq 2 \text{ ctg } (41,8 C_m + 32,6)$ (при $0,30 \leq C_m \leq 0,75$);
- $\chi > 2 \text{ ctg } 64^\circ = 0,97$ (при $C_m > 0,75$).

Исследование второй из вышеперечисленных геомеханических ситуаций целесообразно начать с формирования представлений о механизме удлинения полумульды сдвижения за счет влияния зон, смежных с граничными. Сделать это наиболее удобно на примере рассмотрения простого случая, когда размеры геомеханически однородных зон или отдельной зоны, следующей за граничной, достаточны для минимизации стороннего влияния отработки на видимую границу плоского дна мульды.

Результатирующую полумульду сдвижения в этом случае удобно представить в виде двух составляющих:

- общая мульда сдвижения, образованная от минимального среди достигнутых оседаний $\eta_{\text{min } 1-2}$ над центральными частями рассматриваемых зон;
- дополнительная мульда сдвижения, образованная от

разности достигнутых оседаний $\Delta\eta_{2-1}$ над центральными частями рассматриваемых зон.

Непрерывное суммирование парных значений оседаний, устанавливаемых по каждой из двух обозначенных составляющих мульд в точках пересечения их линий, параллельной оси абсцисс, позволяет получить геометрию результирующей полумульды сдвижения. Наглядное представление изложенного отражено на рисунке 5 (см. цв. вклейку на стр. 59).

Из рисунка 5 видно, что удлинение полумульды сдвижения происходит вследствие наличия разности оседаний $\Delta\eta_{2-1}$ и формируемого влияния от этой величины. При обосновании уменьшения углов полных сдвижений ψ' вследствие удлинения полумульды сдвижения особую важность имеют вспомогательные углы ψ_2 , представляющие собой внутренние относительно рассматриваемого участка выработанного пространства углы, образованные плоскостью пласта и линией, проведенной от границы смежных участков, различающихся по геомеханическим параметрам отработки запасов до видимой границы плоского дна мульды сдвижения.

Взаимосвязь углов ψ' и ψ_2 может быть охарактеризована простой зависимостью:

$$\psi' = \arctg \frac{H_{\text{гр.}}}{D_{\text{гр.з.}} + H_{\text{с.гр.}} \text{ctg } \psi_2}, \quad \text{при } \psi_2 \in [\psi; 90^\circ] \quad (2)$$

где $H_{\text{гр.}}$ и $H_{\text{с.гр.}}$ – глубины разработки, соответствующие среднему расстоянию от земной поверхности до почвы нижнего отрабатываемого пласта, над граничной зоной и смежным участком отработки запасов до границы плоского дна мульды, м; $D_{\text{гр.з.}}$ – размеры граничной зоны в направлении, ортогональном к рассматриваемой постоянной границе выработанного пространства (обычно около 200 м), м; ψ_2 – вспомогательные углы, $^\circ$.

Нижняя и верхняя предельные величины угла ψ_2 , использованные в зависимости 2, нуждаются в последующем пересмотре и приняты первично на основании нижеприведенных рассуждений.

Представим, что параметры отработки в 1-й зоне обеспечивают настолько высокую устойчивость геомеханической системы, что достигнутые оседания над упомянутой зоной достаточно длительное время сохраняются на уровне, близком к нулю. Тогда при условии $\eta_{2i} \gg \eta_{1i}$ граница между 1-й и 2-й зонами по свойствам будет приближена к постоянной, и краевая часть мульды будет формироваться от зоны 2, то есть сместится по направлению от постоянной границы выработанного пространства в сторону подрабатываемого массива. В описанном случае численному значению нижнего предела угла ψ_2 будет близко соответствовать ранее определенная величина угла полных сдвижений ψ .

Учитывая, что в рассматриваемой ситуации достигнутые над 1-й и 2-й зонами оседания должны соответствовать условию $\eta_{2i} > \eta_{1i}$, а также принимая во внимание то, что граница плоского дна мульды не может располагаться над зоной 1, характеризующейся меньшими величинами достигнутых оседаний, угол ψ_2 не может превышать значения 90° , которое и является его предполагаемой верхней предельной величиной.

Дальнейшее исследование будет сводиться к установлению зависимости вспомогательных углов ψ_2 от возможных влияющих факторов, среди которых в первую очередь принята во внимание степень нагружения оставляемых междуканерных целиков C смежных зон. Рассуждая в направлении возможного влияния упомянутого показателя C , справедливо

отметить, что в рассматриваемой ситуации важны не столько абсолютные его значения в каждой отдельной зоне, сколько разность ΔC в смежных зонах, характеризующая различия в интенсивности протекания процесса сдвижения над анализируемыми участками шахтных полей. Учитывая смысловую нагрузку формирования граничной зоны (зоны смягчения), уместно сделать вывод о потенциально невысоких значениях ΔC . Так, например, согласно требованиям нормативных документов [8, 22], в различных горно-геологических условиях отработки запасов допустимые величины степени нагружения $[C]$ в граничной зоне (зоне смягчения) варьируются от 0,30 до 0,40, а в смежной с ней зоне могут составлять от 0,30 до 0,50. Учитывая, что $C \rightarrow [C]$, тогда разность $\Delta C \in [0; 0,2]$. Полученный диапазон возможных значений ΔC имеет высокую распространенность на практике, при этом на некоторых ранее отработанных участках шахтных полей рудников, особенно с применением податливых целиков в непосредственной близости от постоянной границы выработанного пространства, могут встречаться и гораздо большие разности ΔC . Последние нуждаются в анализе для выявления возможного влияния на формирование величин углов ψ_2 .

Реализацию вышеизложенного целесообразно начать с вычисления углов ψ_2 на различные даты инструментальных наблюдений. В рамках рассматриваемого случая с целью некоторого расширения исходного массива данных уместно также принять во внимание и наблюдения по отдельным участкам профильных линий над смежными зонами отработки запасов, не имеющих непосредственного примыкания к постоянной границе выработанного пространства, при условии наличия над одной из зон выраженного плоского дна. Учитывая сказанное, на шахтных полях рудников ВКМКС были отобраны 7 подходящих локальных участков над которыми с момента, близкого к началу отработки запасов, проводились систематические инструментальные наблюдения за процессом сдвижения земной поверхности.

Определение фактических величин углов ψ_{2i} на различные даты инструментальных наблюдений производилось из зависимости, аналогичной выражению 1:

$$\psi_{2i} = \arctg \frac{H_{с.г.р.i}}{z_{sti}}, \quad (3)$$

где H_i – глубина разработки, соответствующая среднему расстоянию от земной поверхности до почвы нижнего отработываемого пласта на участке шахтного поля от границы зон с различными параметрами отработки запасов до границы плоского дна мульды, м; z_{sti} – абсцисса границы плоского дна мульды на рассматриваемую дату наблюдений с началом отсчета от точки между граничной и смежной с ней зонами.

Произведенные расчеты показали выраженную тенденцию к изменению величин углов ψ_{2i} на различные даты инструментальных наблюдений. В такой ситуации прямая оценка влияния расчетной разности степеней нагружения ΔC_m не уместна, следовательно, необходимо использование другого подхода, позволяющего установить возможное влияние рассматриваемого показателя. Например, уместно сопоставить отдельные группы пар значений углов ψ_{2i} (соответствующие различным величинам разности степеней нагружения ΔC_m) и какого-либо высоко коррелируемого с ними фактора. В качестве последнего выделяется отношение оседаний η_{1i} / η_{2i} , достигнутых над рассматриваемыми смежными зонами на различные даты инструментальных наблюдений. Корреля-

ционное поле вычисленных значений ψ_{2i} и η_{1i} / η_{2i} с цветовым обозначением отдельных групп, соответствующих различным величинам ΔC_m , представлено на рисунке 6 (см. цв. вклейку на стр. 59).

Анализируя рисунок 6, справедливо отметить выраженную нелинейную сгруппированность данных, при этом отдельные группы значений углов ψ_{2i} (соответствующие различным величинам ΔC_m) выражено не выделяются из общей тенденции распределения, что свидетельствует о малой значимости показателя ΔC_m для формирования величин углов ψ_{2i} . Оценивая полученное корреляционное поле в целом, можно заметить, что наиболее значимые изменения углов ψ_{2i} прослеживаются на интервале $\eta_{1i} / \eta_{2i} \in [0,2; 0,6]$, а на остальной части оси абсцисс углы ψ_{2i} изменяются незначительно.

В рассматриваемом случае в качестве аппроксимирующей функции для переменной величины ψ_2 хорошо проходит функция арктангенса, представленная ниже:

$$\psi_2 = 59,5 + 0,2 \arctg(8 \frac{\eta_{1i}}{\eta_{2i}} - 3,2), \quad (4)$$

где η_{1i} и η_{2i} – оседания над рассматриваемыми смежными зонами, достигнутые на различные даты инструментальных наблюдений, мм.

Выражение 4 характеризуется высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,91$. Относительные ошибки отклонения фактических величин ψ_{2i} от расчетных значений ψ_2 составляют $\epsilon_{ср.} = 3,1 \%$, $\epsilon_{макс.} = 9,1 \%$. В рассматриваемом случае значения углов ψ_2 наименее достоверны в области экстраполяции аппроксимирующей функции, то есть на интервале оси абсцисс $\eta_{1i} / \eta_{2i} > 0,75$. Учитывая, что в границах упомянутого интервала изменение величин ψ_2 малозначительно (составляет $1,6^\circ$) и является отображением общей тенденции распределения анализируемых углов, справедливо считать полученную зависимость 4 приемлемой для дальнейшего использования.

Принимая во внимание то, что наименьшая расчетная величина угла ψ_2 из зависимости 4 равна 45° и должна соответствовать ранее определенной в выражении 2 области допустимых значений $\psi_2 \in [\psi; 90^\circ]$, можно сделать дополнительный вывод о правильности выбора наименьшего значения угла полных сдвижений $\psi = 45^\circ$ в условиях однородности строения геомеханической системы.

Далее, подставляя зависимость 4 в выражение 2 и заменяя обозначения отдельных переменных, получим

$$\psi' = \arctg \frac{H_{г.р.}}{D_{г.р.} + H_{с.г.р.} \cdot \text{ctg}(59,5 + 0,2 \arctg(8 \frac{\eta_{г.р.i}}{\eta_{с.г.р.i}} - 3,2))}, \quad (5)$$

при $\psi' < \psi_{г.р.}$

где $H_{г.р.}$ и $H_{с.г.р.}$ – глубины разработки, соответствующие среднему расстоянию от земной поверхности до почвы нижнего отработываемого пласта соответственно над граничной зоной и над смежным участком отработки запасов до границы плоского дна мульды, м; $D_{г.р.}$ – размеры граничной зоны в направлении, ортогональном к рассматриваемой постоянной границе выработанного пространства (обычно около 200 м), м; $\eta_{г.р.i}$ и $\eta_{с.г.р.i}$ – достигнутые или прогнозные величины оседаний соответственно над граничной и смежной с ней зонами, м; $\psi_{г.р.}$ – значения углов полных сдвижений для граничной зоны, определенных с применением условий однородного

строения геомеханической системы на основании максимального показателя степени нагружения C_m междукламерных целиков.

Очевидно, что величины углов ψ' , полученные из зависимости 5, не могут быть больше значений углов $\psi_{гр.з.}$. В случае если $\psi' \geq \psi_{гр.з.}$, анализируемую геомеханическую систему из совокупности зон можно условно считать однородной и в качестве угла полных сдвижений использовать величину $\psi_{гр.з.}$.

При использовании выражения 5 важно учитывать, что получено оно на основании рассмотрения наиболее простого случая, когда размеры геомеханически однородных зон или отдельной зоны, следующих/следующей за граничной, достаточны для минимизации стороннего влияния отработки на видимую границу плоского дна мульды. Дальнейшее усложнение полученного выражения 5 путем учета ряда различных комбинаций геомеханических зон, следующих за граничной, нецелесообразно. Объясняется это прежде всего ограниченными потенциальными возможностями применяемой методики. Одним из наиболее простых способов, позволяющих учесть выраженную неоднородность строения геомеханической системы в совокупности зон, следующих за граничной, является усреднение параметров отработки запасов на участке, протяженностью $H_{с.гр.} \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ = H_{с.гр.}$.

Обоснование величин углов максимальных оседаний

Исследование углов максимальных оседаний θ целесообразно начать с косвенного установления ранее используемых на практике их величин, поскольку в нормативной документации [8, 22] нет прямых данных по этому вопросу.

Расчет длины полумульды сдвижения в условиях напольной подработки, согласно [8, 22], выполняется из зависимости:

$$\begin{aligned} L &= H(\operatorname{ctg} \delta_0 + \operatorname{ctg} \psi_0) = \\ H(\operatorname{ctg} \delta_0 + 0,5D/H) &= 0,5D + H \cdot \operatorname{ctg} \delta_0, \end{aligned} \quad (6)$$

где H – глубина до почвы нижнего отрабатываемого пласта на рассматриваемом участке, м; δ_0 – величина граничного угла, °; ψ_0 – величина угла полных сдвижений в условиях неполной подработки, °; D – ширина выработанного пространства, м.

Аналогичный расчет длины полумульды сдвижения с использованием угла θ вместо ψ_0 может быть представлен зависимостью

$$L = 0,5D + H(\operatorname{ctg} \delta_0 - \operatorname{ctg} \theta), \quad (7)$$

где D – ширина выработанного пространства, м; H – глубина до почвы нижнего отрабатываемого пласта на рассматриваемом участке, м; δ_0 – величина граничного угла, °; θ – величина угла максимальных оседаний, °.

Значения угла $\theta > 90^\circ$ в выражении 7 свидетельствуют о смещении границы дна мульды относительно центра рассматриваемого участка отработки шириной D в сторону удаления от постоянной границы, а значения $\theta < 90^\circ$, наоборот, – о смещении границы дна в сторону приближения к постоянной границе.

Соответствие выражений 6 и 7 будет наблюдаться лишь в случае, когда $\operatorname{ctg} \theta = 0$, то есть при $\theta = 90^\circ$. Таким образом, можно утверждать, что в настоящее время расчет длины полумульды сдвижения L в условиях неполной подработки базируется на величине угла максимальных оседаний θ , равном 90° .

Нет основания предполагать, что значение угла θ будет значительно отличаться от вышеопределенной величины 90° в наиболее простом случае, когда геомеханически однородный участок неполной подработки характеризуется пологостью, равными глубинами залегания свиты промышленных пластов и располагается между двумя постоянными границами выработанного пространства. Объясняется сказанное прежде всего тем, что место локализации наиболее высокого горного давления и, как следствие, более интенсивного погашения пустот выработанного пространства будет приходиться на центральную часть упомянутого участка отработки запасов.

Вышеописанное нельзя считать справедливым для ряда реальных условий. Так, например, при выраженной неоднородности строения геомеханической системы и/или наличии влияния со стороны смежной отработки, а также при возможном присутствии участков локального повышения горного давления и/или снижения несущей способности междукламерных целиков, местоположение области наиболее интенсивного разрушения сформированной геомеханической системы может не совпадать с центральной частью анализируемой площади неполной подработки. Описанное в сочетании с относительно низкой интенсивностью развития процесса сдвижения, характерной для большинства отработанных на ВКМКС площадей, способствует формированию предпосылок для отклонения значений угла θ от 90° .

Проверку вышеизложенного целесообразно выполнить на основании анализа фактических величин углов максимальных оседаний θ в условиях отработки запасов рассматриваемого месторождения. Для этого на шахтных полях рудников ВКМКС отобраны 7 локальных участков неполной подработки, над которыми велись систематические инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности с момента, близкого к началу отработки запасов.

Определение фактических величин углов θ на различные даты инструментальных наблюдений производилось из зависимости

$$\theta_i = \arctg \frac{H_i}{z_{(\eta_m)i}}, \quad (8)$$

где H_i – глубина разработки в центральной части анализируемого локального участка отработки запасов, соответствующая расстоянию от земной поверхности до почвы нижнего отрабатываемого пласта, м; $z_{(\eta_m)i}$ – абсцисса точки максимального оседания η_m , определяемая по сглаженной кривой на рассматриваемую дату наблюдения с началом отсчета от центральной части анализируемого участка отработки запасов, м.

Выполненные расчеты показали выраженное постоянство во времени фактических углов θ_i на каждой из рассмотренных наблюдательных станций, что является основанием для возможности определения обобщенных их значений $\theta_{ср.}$ над анализируемыми участками отработки запасов. Величины углов $\theta_{ср.}$ лежат в диапазоне от $94,5^\circ$ до $97,7^\circ$, а их среднее $\theta_{ср.}$ составляет $95,6^\circ$. Относительные ошибки отклонения величин $\theta_{ср.}$ от $\theta_{ср.}$ достаточно малы и равны $\epsilon_{ср.} = 1,0 \%$, $\epsilon_{макс.} = 2,1 \%$.

Поиск факторов, способствующих отклонениям фактических местоположений точек максимальных достигнутых оседаний от центральных частей рассмотренных участков, не привел к получению однозначных результатов. В каждом

конкретном из рассмотренных случаев наиболее вероятными причинами упомянутых отклонений выступали различные обстоятельства, среди которых можно выделить такие, как неоднородность геомеханической системы, различия в сроках отработки запасов и закладки выработанного пространства на рассматриваемом и смежных участках отработки, а также наличие локальных областей наибольших глубин. Граница дна мульды сдвижения во всех рассмотренных случаях смещалась в сторону локализации вышеупомянутых факторов. Опираясь на изложенное и принимая во внимание незначительный разброс величин вычисленных углов $\theta_{\text{ср.}}$, а также малость исходного массива данных, можно сделать вывод о том, что в сложившейся ситуации установление степени влияния каждого отдельного из обозначенных факторов неуместно. Для практического использования при наличии факторов, потенциально способствующих отклонению границы дна мульды сдвижения, наиболее целесообразно ограничиться вышеприведенным средним значением угла θ , равным $95,6^\circ$.

Выводы

1. Величины углов полных сдвижений ψ на ВМКМС в условиях однородного строения геомеханической системы не склонны к выраженным изменениям во времени, при этом их численные значения имеют тесную взаимосвязь со скоростями оседаний подрабатываемого массива горных пород $\dot{\eta}$ в начальный период времени (особо значимы первые пять лет с момента отработки запасов). Учитывая, что упомянутые скорости $\dot{\eta}$ в обозначенный интервал времени характеризуется выраженной взаимосвязью с рассчитываемыми степенями нагружения C оставляемых междукamerных целиков, показатель C можно использовать в качестве основы для оценки величин углов ψ .

Выполненные исследования позволили установить представленную ниже зависимость:

$$\psi = \begin{cases} 45^\circ, & \text{при } C_m < 0,30 \text{ и } 41,8 C_m + 32,6, \\ & \text{при } 0,30 \leq C_m \leq 0,75 \text{ и } 64^\circ, \\ & \text{при } C_m > 0,75, \end{cases}$$

где C_m – наибольшее значение степени нагружения C_m среди отработанных пластов на рассматриваемом участке шахтного поля.

Из приведенной зависимости видно, что значения углов ψ могут отличаться до 10° от используемой в настоящее время на практике фиксированной величины 55° , что является довольно существенным обстоятельством при определении длины полумульды сдвижения L .

Полученная зависимость нуждается в последующих корректировках после накопления новых данных результатов инструментальных наблюдений над участками отработки запасов, однородных по строению геомеханической системы.

Отдельно важно выделить случай, когда над каким-либо анализируемым участком отработки запасов произошла внезапная значительная активизация процесса сдвижения (например, в случае массового обрушения междупластья). В этой ситуации ранее определенные углы полных сдвижений ψ нуждаются в пересмотре в соответствии с вновь установившимися скоростями оседаний и степенями нагружения междукamerных целиков.

2. Опираясь на вышеизложенные результаты исследования, уместно дополнительно уточнить коэффициент χ , характеризующий условие полной подработки:

- $\chi > 2,00$ при $C_m < 0,30$;
- $\chi \geq 2 \text{ ctg}(41,8 C_m + 32,6)$ при $0,30 \leq C_m \leq 0,75$;
- $\chi > 0,97$ при $C_m > 0,75$.

Использование полученных результатов исследования позволило существенно расширить диапазон условий, при которых наблюдается полная подработка земной поверхности. Об этом свидетельствуют значимые отличия (до 0,6) рассчитанных предельных коэффициентов χ от применяемого в настоящее время значения 1,4.

3. В условиях, когда граничные зоны или зоны смягчения характеризуются более поздними сроками отработки запасов, и/или меньшими расчетными значениями показателей степени нагружения оставляемых междукamerных целиков C , и/или меньшими суммарными максимальными оседаниями $\sum \eta_m$ относительно остальной совокупности смежных с ними зон, возможно некоторое удлинение полумульды сдвижения, вызванное уменьшением видимых углов полных сдвижений. Последние в контексте рассматриваемой ситуации удобно обозначить как ψ' .

Выполненные исследования позволили установить зависимость для определения углов ψ'

$$\psi' = \arctg \frac{H_{\text{г.р.}}}{D_{\text{г.р.з.}} + H_{\text{с.г.р.}} \text{ctg}(59,5 + 0,2 \arctg(8 \frac{\eta_{\text{г.р.з.и}}}{\eta_{\text{с.г.р.и}}} - 3,2))},$$

при $\psi' < \psi_{\text{г.р.з.}}$

где $H_{\text{г.р.}}$ и $H_{\text{с.г.р.}}$ – глубины разработки, соответствующие среднему расстоянию от земной поверхности до почвы нижнего отрабатываемого пласта, соответственно над граничной зоной и над смежным участком отработки запасов до границы плоского дна мульды, м; $D_{\text{г.р.з.}}$ – размеры граничной зоны в направлении, ортогональном к рассматриваемой постоянной границе выработанного пространства (обычно около 200 м), м; $\eta_{\text{г.р.и}}$ и $\eta_{\text{с.г.р.и}}$ – достигнутые или прогнозные величины оседаний соответственно над граничной и смежной с ней зонами, м; $\psi_{\text{г.р.з.}}$ – значения углов полных сдвижений для граничной зоны, определенных с применением условий однородного строения геомеханической системы на основании максимального показателя степени нагружения C_m междукamerных целиков.

При $\psi' \geq \psi_{\text{г.р.з.}}$ анализируемую геомеханическую систему из совокупности зон можно условно считать однородной и в качестве угла полных сдвижений использовать величину $\psi_{\text{г.р.з.}}$.

Одним из наиболее простых способов, позволяющих учесть выраженную неоднородность строения геомеханической системы в совокупности зон, следующих за граничной, является усреднение параметров отработки запасов на участке, протяженностью $H_{\text{с.г.р.}} \cdot \text{ctg } 45^\circ = H_{\text{с.г.р.}}$.

4. Расчет длины полумульды сдвижения L в условиях неполной подработки наиболее целесообразно выполнять на основании зависимости, базирующейся на использовании угла максимальных оседаний θ :

$$L = 0,5D + H(\text{ctg } \delta_0 - \text{ctg } \theta),$$

где D – ширина выработанного пространства, м; H – глубина до почвы нижнего отрабатываемого пласта на рассматриваемом участке, м; δ_0 – величина граничного угла, $^\circ$; θ – величина угла максимальных оседаний, $^\circ$.

При выраженной однородности строения геомеханиче-

ской системы, относительной близости сроков отработки запасов и закладки выработанного пространства в совокупности зон, составляющих рассматриваемый участок, а также при отсутствии значительных перепадов глубин разработки, в качестве угла θ уместно использовать величину 90° . В остальных случаях целесообразно ограничиться значением $\theta = 95,6^\circ$, учитывая при этом, что отклонение границы дна мульды будет тяготеть по направлению воздействия факторов (одна из смежных зон с сравнительно более высокими фактическими или прогнозными скоростями оседаний, область повышения горного давления, обусловленная выраженным ростом глубин разработки и пр.), способствующих локальному увеличению интенсивности развития процесса сдвижения. Разница между значениями угла θ , определенным в ходе выполненного исследования ($95,6^\circ$) и косвенно

используемым в настоящее время на практике (90°), составляет $5,6^\circ$, что является значимым обстоятельством при расчетах длины полумульды сдвижения L .

Полученное значение угла $\theta = 95,6^\circ$ нуждается в последующих корректировках с учетом накопления новых данных инструментальных наблюдений над участками отработки запасов, соответствующих рассматриваемым условиям.

5. Учитывая, что длина полумульды сдвижения склонна к изменению во времени, с целью развития полного понимания о характере деформирования краевой части мульды сдвижения особый интерес представляет вопрос исследования характера изменений во времени распределений относительных оседаний, наклонов и кривизны. Решение обозначенного вопроса можно отнести к последующим целям исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Барях АА, Тенисон ЛО. Обоснование инженерных критериев безопасной подработки водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении солей. *Горный журнал*. 2021;4:57-63.
- Baryakh AA, Tenison LO. Justification of engineering safety criteria for undermining of water-proof layer in the Upper Kama Salt Deposit. *Mining magazine*. 2021;4:57-63. (In Russ.).
- Усанов СВ, Коновалова ЮП, Усанова АВ. Исследование причин повреждений жилых малоэтажных зданий в зоне влияния подземных горных работ. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2023;2:334-46.
- Usanov SV, Konovalova YuP, Usanova AV. Study of the causes of damage to residential low-rise buildings in the zone of influence of underground mining. *News of Tula State University: Geosciences*. 2023;2:334-46. (In Russ.).
3. Strzałkowski P. Some Remarks on Impact of Mining Based on an Example of Building Deformation and Damage Caused by Mining in Conditions of Upper Silesian Coal Basin. *Pure and Applied Geophysics*. 2019;176(6):2595-605. doi: 10.1007/s00024-019-02127-1.
4. Zhanga M, Zhangb Y, Jia M, Jiao P. Research on reasonable mining scheme for coal recovery in thick coal seam under buildings and other structures. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2019;67(2):90-8.
5. Guo G, Li H, Zha J. An approach to protect cultivated land from subsidence and mitigate contamination from colliery gangue heaps. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019;(124):336-44. doi: 10.1016/j.psep.2019.03.004.
6. Diao X, Wu K, Zhou D, et al. Combining subsidence theory and slope stability analysis method for building damage assessment in mountainous mining subsidence regions. *PLOS ONE*. 2019;14(2):0210021. doi: 10.1371/journal.pone.0210021.
7. Pawluszek-Filipiak K, Borkowski A. Integration of DInSAR and SBAS Techniques to Determine Mining-Related Deformations Using Sentinel-1 Data: The Case Study of Rydułtowy Mine in Poland. *Remote Sensing*. 2020;12(2):242. doi: 10.3390/rs12020242.
8. Указания (мероприятия) по защите рудников ПАО «Уралкалий» от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных разработок на ВКМКС. Часть 1: Основные положения. Часть 2: Методические рекомендации – ГИ УрО РАН, Пермь, 2022.
- Regulations for the protection of the mines of PJSC Uralkali from flooding and the protection of objects on the earth's surface from the harmful effects of underground mining on the VDPMS. Part 1. Basic provisions. Part 2. Guidelines - MI Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Perm, 2022. (In Russ.)
9. Нестеров МП, Львова АВ, Аникин НФ. Основные особенности закономерностей деформаций земной поверхности на калийных рудниках. *Строительные конструкции* Киев, 1974.
- Nesterov MP, Lvova AV, Anikin NF. The main features of the patterns of deformation of the earth's surface in potash mines. *Building structures*. Kyiv, 1974. (In Russ.).
10. Нестеров МП, Аникин НФ. Основные закономерности деформирования земной поверхности на Верхнекамском калийном месторождении и методы его предрасчета. *Механика горных пород при разработке природных солей: Тр. ВНИИГ*. 1974;67.
- Nesterov MP, Anikin NF. Basic patterns of deformation of the earth's surface at the Verkhnekamskoye potassium deposit and methods for its pre-calculation. *Rock mechanics in the development of natural salts*. Leningrad, 1974. (In Russ.)
11. Нестеров МП. Особенности процесса деформирования земной поверхности на калийных месторождениях и специфика их учета при выборе конструктивных мер защиты подрабатываемых объектов. *Доклады на Международном симпозиуме по защите окружающей среды от последствий подземной эксплуатации минерального сырья*. Тузла (Югославия), 1975.
- Nesterov MP. Features of the process of deformation of the earth's surface in potash deposits and the specifics of their consideration when choosing constructive measures to protect undermined objects. *Reports at the international Symposium on environmental protection from the consequences of underground exploitation of mineral raw materials*. Tuzla (Yugoslavia), 1975. (In Russ.).
12. Нестеров МП. Оседания земной поверхности при разработке калийных месторождений и горно-технические меры уменьшения их вредного влияния. *Доклады на III Международном симпозиуме по маркшейдерскому делу*: Т. 3. Леобен (Австрия), 1976.
- Nesterov MP. Subsidence of the earth's surface during the development of potash deposits and mining and technical measures to reduce their harmful effects. In the book: *Reports at the III International Symposium on Mine Surveying*. Vol. 3. Leoben (Austria), Mining University, 1976. (In Russ.).
13. Аникин НФ. Развитие сдвижения земной поверхности во времени на Верхнекамском калийном месторождении при системах с податливыми целиками. *Сдвижение земной поверхности и толщи на калийных месторождениях*. Ленинград, 1977.
- Anikin NF. Development of displacement of the earth's surface in time at the Verkhnekamsk potash deposit in systems with yielding pillars. *Shift of the earth's surface and strata in potash deposits*. Leningrad, 1977. (In Russ.).
14. Аникин НФ, Львова АВ, Бешенцева ЭФ. Особенности формирования краевых частей мульды сдвижения в условиях Верхнекамского

месторождения. *Контроль, прогнозирование и управление состоянием пород в калийных рудниках: сборник научных трудов*. Ленинград, 1985:186.

Anikin NF, Lvova AV, Beshentseva EF. Features of the formation of the edge parts of shear troughs in the conditions of the Verkhnekamskoye field. *Monitoring, forecasting and managing the condition of rocks in potash mines*. Leningrad, 1985:186 (In Russ.).

15. Казаковский ДА. Сдвигение земной поверхности под влиянием горных разработок. Москва, 1953:228 с.

Kazakovskiy DA. The displacement of the earth's surface under the influence of mining. Moscow, 1953:228. (In Russ.).

16. Викторов СД, Иофис МА, Гончаров СА. Сдвигение и разрушение горных пород. Москва, 2005: 277.

Viktorov SD, Iofis MA, Goncharov SA. Displacement and destruction of rocks. Moscow, 2005: 277. (In Russ.).

17. Посыльный ЮВ. Геометрия мульды сдвижения земной поверхности над горными выработками угольных шахт. Новочеркасск, 2012: 216.

Posylny YuV. Geometry of the trough of displacement of the earth's surface over the workings of coal mines. Novocherkassk, 2012:216. (In Russ.).

18. Михайлова ТВ, Рогова ТБ. Сдвигение и деформации пород и земной поверхности при ведении горных работ. Кемерово, 2017:110.

Mikhailova TV, Rogova TB. Movement and deformation of rocks and earth surface during mining. Kemerovo 2017:110 p. (In Russ.).

19. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. Санкт-Петербург, 1998:291.

Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in coal deposits. St. Petersburg, 1998:291. (In Russ.).

20. Щегольков ЮС. Обоснование критериев основных угловых параметров процесса сдвижения для условий отработки запасов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(3):42-54.

Shchegolkov YuS. Justification of the criteria for the main angular parameters of the displacement process for the conditions of development of reserves of the Verkhnekamskoye field potassium-magnesium salts. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(3):42-54. (In Russ.) doi: 10.56195/20793332_2024_3_42_54.

21. Щегольков ЮС. Определение граничных углов процесса сдвижения земной поверхности при отработке запасов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(6):25-32. doi: 10.56195/20793332_2024_6_25_32.

Shchegolkov YuS. Determination of boundary angles of the process of earth's surface displacement during the mining of reserves of the Verkhnekamskoye deposit of potassium-magnesium salts. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(6):25-3 (In Russ.).

22. Указания по защите рудников от затопления и охране объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. Санкт-Петербург – Пермь, 2014.

Regulations for the protection of mines from flooding and the protection of facilities at the Verkhnekamskoye potassium-magnesium salt deposit. St. Petersburg – Perm, 2014. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Юрий Сергеевич Щегольков –

главный специалист аналитического отдела проектно-аналитического управления ПАО «Уралкалий». 618426, г.

Березники, Российская Федерация,

e-mail: rabota.shegolkov@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Yuri S. Shchegolkov –

main specialist of the analytical department of design and analytical management, PJSC «Uralkali», 618426, Berezniki,

Russian Federation, e-mail: rabota.shegolkov@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.10.2024.

Поступила после рецензирования: 09.01.2025.

Принята к публикации: 20.01.2025.

Article info

Received: 17.10.2024.

Revised: 09.01.2025.

Accepted: 20.01.2025.

В. Ф. Демин¹, С. Б. Алиев², Н. А. Милетенко², О. В. Старостина¹, В. Н. Долгонос¹✉

¹Карагандинский технический университет (КарТУ) имени А. Сагинува, 100027,

г. Караганда, Казахстан

²Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук,

111020, г. Москва, Российская Федерация

✉ vnd070765@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований по разработке технологии и средств крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния углепородного массива на основе цифрового моделирования. Разработана проектно-конструкторская документация анкеров. Проведены стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов в лабораторных условиях, а также опытно-промышленные испытания канатных и составных анкеров в шахтных условиях. Разработаны рекомендации по эффективному применению технологии анкерного крепления подготовительных выработок при проведении в зонах тектонических нарушений, повышенного горного давления, влияния очистных работ на сопряжениях и в лавах добычных участков шахт.

Ключевые слова: угольный пласт, кровля, горная выработка, лава, структурная модель, опасные зоны, анкерное крепление, слой песчаника

Для цитирования: Демин ВФ, Алиев СБ, Милетенко НА и др. Разработка средств крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния массива. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 71-75. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-71-75>.

V. F. Demin¹, S. B. Aliev², N. A. Miletenko², O. V. Starostina¹, V. N. Dolgonosov¹✉

¹A. Saginov Karaganda Technical University (KarTU), 100027, Karaganda, Kazakhstan

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences,

111020, Moscow, Russian Federation

✉ vnd070765@mail.ru

Abstract. The article contains the results of research on the development of technology and means of fastening mine workings, taking into account the stress-strain state of the coal rock massif based on digital modeling. Design documentation of rockbolt support has been developed. Bench tests of a batch of pilot-industrial samples in laboratory conditions and pilot-industrial tests of rope and composite rockbolt in mine conditions. Recommendations have been developed on the effective use of the technology of rockbolt support of preparatory workings when conducting tectonic disturbances, increased rock pressure, the influence of cleaning operations, at the junctions and in the lavas of mining sections of mines.

Keywords: Coal seam, Roof, Mining working, Breakage face, Geomechanical model, Dangerous areas, Rockbolt support, Sandstone layer

For citation: Demin VF, Aliev SB, Miletenko NA. Development of fastening mining workings means based on the stress-strain state of the massif. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):71-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-71-75>.

Введение

Крепление и поддержание подземных горных выработок является одной из важнейших задач технологического процесса на горнодобывающих предприятиях [1]. Горные выработки можно образно сравнить с кровеносными сосудами, от их состояния напрямую зависит «здоровье» всего организма. Для принятия обоснованных технологических решений по определению параметров крепи для ее эффективной работы необходима прогнозная геомеханическая оценка состояния горного массива в окрестности выработок. Разработка и внедрение технологии и средств крепления с учетом напряженно-деформированного состояния (НДС) вмещающих пород позволит уменьшить материальные и трудовые затраты и повысить эффективность ведения горных работ [2–4].

Авторами разработана технология и средства крепления шахтных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния углепородного массива на основе цифрового моделирования процессов во вмещающих породах вокруг выработки при взаимодействии жесткой крепи и приконтурного горного массива с применением средств из металлических стержней с винтовой поверхностью и канатно-тросовых анкеров глубокого заложения, устанавливаемых в зоны напряженного состояния (опорного горного давления впереди лавы) и ослабленных пород, где проявляются неупругие деформации. Для упрочнения массива используется смола-нагнетание, создавая устойчивую раму по контуру выработок [5, 6].

Цель исследований: разработка технологических решений по анкерному креплению горных выработок на сложных участках, таких как пересечение геологического нарушения, зоны повышенного горного давления, зоны влияния очистных работ.

Объект исследований

Большинство подземных горных выработок на шахтах Карагандинского бассейна находятся в неустойчивом состоянии (смещения пород кровли, почвы и бортов) и поддерживаются со значительными трудовыми и материальными затратами. Объектом исследований и опытно-промышленных работ служат подготовительные выработки в зонах тектонических нарушений, на сопряжениях выработок на шахтах бассейна [7, 8].

Методы исследований

В рамках исследований выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в окрестности горной выработки. Разработана проектно-конструкторская документация анкеров контурного и многоцелевого заложения для крепления горных выработок: сталеполимерного составного анкера с элементом равномерного перемешивания; металло-канатного анкера; сталеполимерного составного анкера; канатного анкера с прорезями и винтовыми отверстиями. Проведены стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов в лабораторных условиях и опытно-промышленные испытания канатных и составных анкеров на конвейерном штреке шахты «Абайская». Произведена апробация разработанных изделий при проведении опытно-промышленных экспериментов по определению работоспособности и нагрузочных характеристик канатных анкеров [4].

Конструкторская документация на изготовление опытной

партии образцов составного (наращиваемого, стыкуемого) металлического сталеполимерного анкера была в последующем скорректирована по результатам стендовых и шахтных испытаний.

Моделирование напряженно-деформированного состояния массива

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в окрестности горной выработки – конвейерного штрека на шахте имени Т. Кузембаева Карагандинского угольного бассейна было выполнено с применением метода конечных элементов с использованием программы Ansys. Исследовано влияние угла наклона контурного анкера на изменение НДС массива горных пород [4, 9].

При угле наклона анкеров 75° к горизонту получены минимальные нормальные напряжения, следовательно, данный параметр рекомендуется при установке канатных анкеров в зоне влияния очистных работ [4, 10].

Результаты и реализация работы

Стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления

Разработаны системы контурного крепления горных выработок: сталеполимерный составной анкер с элементом равномерного перемешивания; металло-канатный анкер для крепления горных выработок; сталеполимерный составной анкер; канатный анкер с прорезями и винтовыми отверстиями [11].

Стержень анкера был изготовлен из арматурной стали периодического профиля А 300 марки «Сталь 3пс» длиной 4,8 м с витым профилем при внешнем диаметре 21,8 мм с пределом прочности на разрыв 650–740 МПа [12].

Испытания опытных образцов анкеров были проведены в лаборатории управления ТОО «Углесервис» УД АО «АМТ».

Анкер с диаметром в месте накручивания соединительной муфты 17,5 мм – резьба М 1,5 мм, толщина стенки муфты 3,7 мм – разрывное усилие составило 15,1 тонны, разрыв произошел по муфте. Анкер с диаметром в месте соединения муфтой 16 мм – разрывное усилие составило 14,0 тонны при разрыве самого анкера (рис. 1).

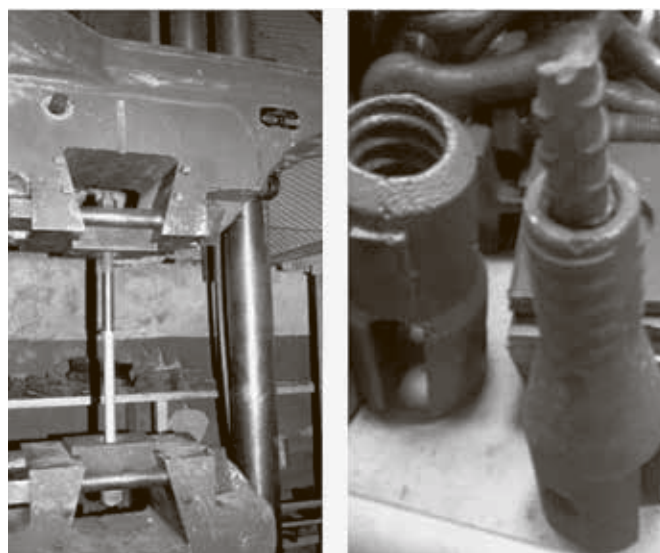


Рис. 1.

Fig. 1. - ° °

Опытно-промышленные испытания

Проведен промышленный эксперимент на шахте «Абайская» при креплении сопряжения конвейерного штрека 332K₁₂-Ю с вентиляционным уклоном K₁₀ на глубине 580 м от поверхности (рис. 2).

Высота сопряжения – 3 м, ширина – 6 м. Крепление было выполнено 15 кровельными анкерами АМВ шагом 0,8 м и 4 боковыми (2 металлических и 2 стеклопластиковых) шагом 1,0 м. Вдоль сопряжения был возведен арочный профиль, закрепленный к кровле анкерами через 5 м. В местах их соединения и по мере подвигания выработки под него устанавливались составные арочные стойки трения.

Породы непосредственной кровли были представлены серым алевролитом мощностью 4 м, прочностью на одноосное сжатие 25–30 МПа. Породы основной кровли – среднезернистые серые песчаники мощностью до 10 м прочностью 35–40 МПа [7, 13–15].

Были установлены составные анкера при креплении сопряжения. Составные анкера были изготовлены длиной 4,8 м диаметром 22 мм. Верхняя и нижняя части анкера длиной по 2,4 м. Соединение производилось составной муфтой длиной 200 мм, наружным и внутренним диаметром соответственно 25 и 17 мм, изготовленной из высокопрочной стали.

Шпуры длиной 4,7 м под составные анкера бурились установкой СБР с использованием буровых штанг длиной 1,2 и 3 м с буровой коронкой диаметром 28 мм. Были размещены в первом шпуре: быстротвердеющая ампула ДАК-1 (длиной 0,3 м, время твердения – 25–30 с) и две замедленные ампулы ДАК-1 (длиной 0,6 м, время твердения – 180 с), установлены составные анкера длиной 4,8 м. Достигнуто частичное заполнение шпура (осталось незаполненной полость длиной 0,4 м). Оставался отрезок концевика короткой части анкера длиной 0,2 м для испытания несущей способности анкера после его установки (для подвешивания гидродомкрата) [4, 16].

При испытании несущей способности анкероудерживателем RH302 составного анкера была достигнута нагрузка 22 тонны, что является достаточным для установки двухуровневого крепления. Смещения анкера отсутствовали.

Во втором шпуре были установлены три замедленные ампулы ДАК-1 длиной 0,6 м. Достигнуто полное заполнение шпура (осталось незаполненной лишь полость длиной 5 см). Перемещения анкера отсутствовали.

Анкера устанавливались с частотой (плотностью) через 1,5 м, обеспечивая подшивку сетчатой затяжки к контуру кровли. Рабочей буровой штангой производилось бурение на заданную глубину. После окончания бурения шпура химические ампулы с помощью досыльного устройства вводились в шпур. За последней ампулой устанавливался стопорный парашют. Анкерный стержень заводился в шпур, на гайку стержня надевался адаптер, установленный на анкероустановщик, включением подачи и вращением шпинделя анкер подавался в шпур. Время подачи вращающегося анкерного стержня составляло 20–30 с, после чего анкерный стержень удерживался под распором без вращения не менее 1 минуты. Повторным включением вращения шпинделя подтягивалась гайка анкера, при этом обязательно должен произойти срыв штифта гайки, опорная чашка плотно прижималась к кровле выработки. При длине шпура, равной 4,7 м, выход торца анкера (длиной 4,8 м) за пределы шпура не более 0,15 м [16, 17].

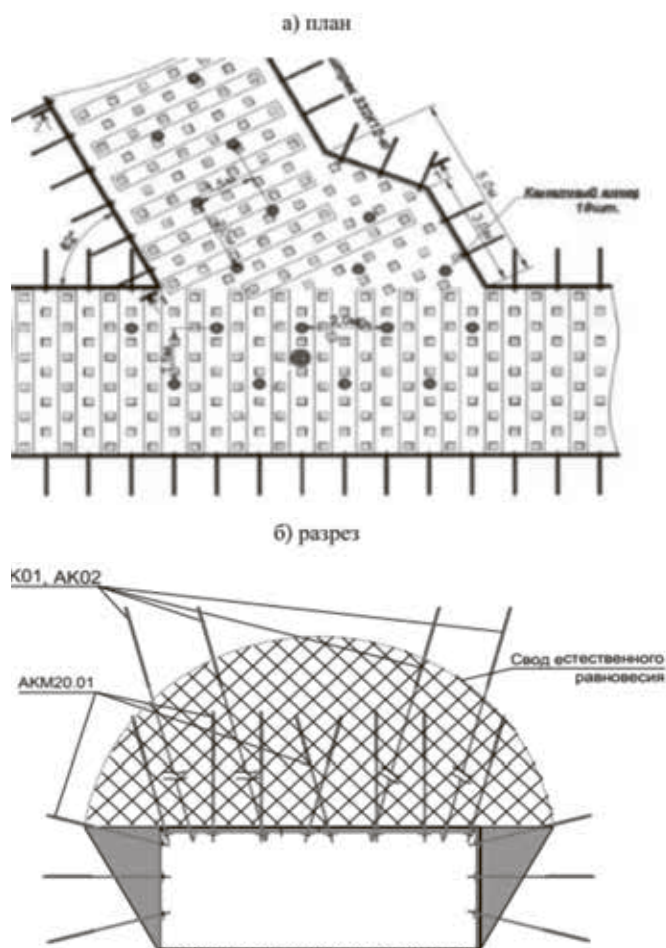


Рис. 2.

Fig. 2.

Испытания показали, что при установке составного анкера на ампулы с закрепляющим составом усилие выдергивания увеличивается в 1,5 раза [4, 18].

Выводы

1. В работе обоснованы рациональные параметры технологии крепления горных выработок анкерами глубокого заложения, приведены результаты стендовых и шахтных испытаний. Полученные результаты использованы для разработки технологических схем крепления подготовительных выработок и технологического регламента установки анкеров глубокого заложения. Технология крепления выработок анкерами была включена в проект развития шахты «Абайская» и внедрена на шахте.

2. Разработаны рекомендации по эффективному применению технологии анкерного крепления подготовительных выработок при проведении в зонах тектонических нарушений, повышенного горного давления, влияния очистных работ, на сопряжениях и в лавах добычных участков шахт.

3. Выполнены технологические и технические разработки по установлению параметров и реализации технологии крепления составными анкерами глубокого заложения для подготовительных выработок на сопряжениях, по креплению широких камер (монтажных и демонтажных), пересечений выработок, уширений площади поперечного сечения для расположения технологического оборудования (передвижного распределительного пункта лавы, насосных станций, ком-

прессорного хозяйства), имеющие существенное значение для повышения эффективности горно-подготовительных и очистных работ в угольной промышленности.

4. Проведенные авторами исследования направлены на повышение эффективности и безопасности ведения горных работ на шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Москва, 1973: 512.
Safety rules in coal and shale mines. Moscow, 1973: 512. (In Russ.).
2. Булычев НС. Механика подземных сооружений. Москва, 1989: 270.
Bulychev NS. Mechanics of underground structures. Moscow, 1989: 270. (In Russ.).
3. Виноградов ВВ. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. Киев, 1989: 192.
Vynogradov VV. Geomechanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gornyyh vyirabotok. Kyiv, 1989: 192. (In Russ.).
4. Демин ВФ, Алиев СБ, Щенников ВН и др. Разработка средств для анкерного крепления горных выработок в зоне опорного давления с применением численного моделирования НДС массива. *Вектор научной мысли*. 2024;12(17).
Demin VF, Aliev SB, Shennikov VN, et al. Development of tools for anchoring mining workings in the reference pressure zone using stress-strain state of the massif numerical modeling. *Scientific thought vector*. 2024;12(17). (In Russ.).
5. Алиев СБ, Демин ВФ, Кайназаров АС и др. Оценка состояния приконтурного горного массива на сопряжении лавы с примыкающей выработкой. *Уголь*. 2023;1:35-9.
Aliev SB, Demin VF, Kainazarov AS, et al. Condition assessment of the close to the wall rock mass at the interface of lava with an adjacent mining working. *Coal*. 2023;1:35-9. (In Russ.).
6. Демин ВФ, Портнов ВС, Демина ТВ и др. Исследование деформированного состояния приконтурного угленосного массива вокруг горной выработки с анкерным креплением. *Уголь*. 2019;7:72-7.
Demin VF, Portnov VS, Demina TV, et al. Investigation of the deformed state of a contiguous carboniferous massif around an anchored mining mine. *Coal*. 2019;7:72-7. (In Russ.).
7. Долгоносков ВН, Пак ГА, Дрижд НА и др. Геомеханические и газодинамические процессы в угольных шахтах. Караганда, 2012: 214.
Dolgonosov VN, Pak GA, Drijd NA, et al. Geomechanical and gas-dynamic processes in coal mines. Karaganda, 2012: 214. (In Russ.).
8. Gerrard C. Rock bolting in theory. *Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting*. Abisko, Sweden, 1983: 3-29.
9. Штумпф ГГ. Повышение надежности работы и эффективности применения анкерной крепи в подготовительных выработках. *Уголь*. 1998;2:21-3.
Shtumpf G. Improving the reliability and efficiency of the use of anchorage in preparatory workings. *Coal*. 1998;2:21-3. (In Russ.).
10. Новиков АО. О напряженно-деформированном состоянии породного массива с анкерными породоармирующими системами. *Вестник Донецкого технического университета*. 2010;1:117-23.
Novikov AO. Improving the reliability of operation and efficiency of the use of anchorage in preparatory workings on the stress-strain state of a rock mass with anchor rock reinforcement systems. *Donetsk Technical University Vestnik*. 2010;1:117-23. (In Russ.).
11. Широков АП, Лидер ВА, Дзауров МА. Анкерная крепь: справочник. Москва, 1990: 205.
Shirokov AP, Leader VA, Dzaurov MA. Anchorage: Reference book. Moscow, 1990: 205. (In Russ.).
12. Общетеchnический справочник. Под редакцией Е. А. Скороходова. Москва, 1982: 415.
General technical reference book. Moscow, 1982: 415. (In Russ.).
13. Борисов АА. Механика горных пород и массивов. Москва, 1980: 360.
Borisov AA. Rock mechanics. Moscow, 1980: 360. (In Russ.).
14. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Москва, 1977: 159.
Instructions for the safe conduct of mining operations in seams hazardous due to sudden outbursts of coal and gas. Moscow, 1977: 159. (In Russ.).
15. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Москва, 1995: 92.
Instructions for the safe conduct of mining operations in seams hazardous due to sudden outbursts of coal and gas. Moscow, 1995: 92. (In Russ.).
16. Мартыненко ИИ. Опыт применения анкерной крепи в камерах и на сопряжениях подготовительных выработок. *Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства*. Новочеркасск, 2005: 169-76.
Martynenko II. Experience in the use of anchorage in chambers and at the junctions of preparatory workings. *Scientific and technical problems of coal mining, mine and underground construction*. Novocherkassk, 2005: 169-76. (In Russ.).
17. Жаров АИ. Эффективность внедрения безопасных технологий длинноанкерного крепления и поддержания сопряжений очистных механизированных забоев. *Уголь*. 2000;6:33-5.
Zharov AI. The effectiveness of the safe technologies introduction for long-range anchoring and maintenance of interfaces for mechanized sewage treatment plants. *Coal*. 2000;6:33-5. (In Russ.).
18. Кулинич КВ. Исследование параметров анкерно-инъекторных конструкций на физической модели. *Горный информационно аналитический бюллетень*. 2005;9:109-14.
Kulinich KV. Investigation of the parameters of anchor-injection structures on a physical model. *Mining information and analytical bulletin*. 2005;9:109-14. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Федорович Демин –
д-р техн. наук, профессор кафедры РМПИ, Карагандинский
технический университет (КарТУ) имени А. Сагинова,
100027, г. Караганда, Казахстан, e-mail: vladfdemin@mail.
ru, <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir F. Demin –
Doctor of Technical Sciences, Professor, Department Mineral
Deposits Mining of Abylkas Saginov Technical University,
100027, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: vladfdemin@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

Самат Бикитаевич Алиев –

д-р техн. наук, с.н.с., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация. Академик НАН Республики Казахстан, e-mail: alsamat@gmail.com

Наталья Александровна Милетенко –

канд. техн. наук, с.н.с., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: nmilet@mail.ru / orcid.org/0000-0002-5594-3036

Ольга Васильевна Старостина –

канд. техн. наук, доцент кафедры МДуГ, Карагандинский технический университет (КарТУ) имени А. Сагинова, 100027, г. Караганда, Казахстан, e-mail: olga.starostina2612@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Виктор Николаевич Долгоносков –

д-р техн. наук, доцент кафедры МДуГ, Карагандинский технический университет (КарТУ) имени А. Сагинова, 100027, г. Караганда, Казахстан, e-mail: vnd070765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Samat B. Aliev –

Doctor of Technical Sciences, Senior research employee, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russian Federation, Academician of the National Sciences Academy Kazakhstan Republic, e-mail: alsamat@gmail.com

Natalya A. Miletenko –

Candidate of Technical Sciences, Senior research employee, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russian Federation, e-mail: nmilet@mail.ru / orcid.org/0000-0002-5594-3036

Olga V. Starostina –

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy Abylbas Saginov Technical University, Karaganda, 100027, Kazakhstan, e-mail: olga.starostina2612@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Viktor N. Dolgonosov –

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy Abylbas Saginov Technical University, 100027, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: vnd070765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Критерии авторства / Contribution:

В. Ф. Демин – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи; **С. Б. Алиев** – генерация идеи исследования, проведение эксперимента, выполнение расчетов, выполнение работы по систематизации материала, подготовка данных, анализ данных, написание текста статьи; **Н. А. Милетенко** – постановка задачи исследования, получение исходных данных для анализа, проведение эксперимента/испытаний, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи; **О. В. Старостина** – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, выполнение расчетов, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи; **В. Н. Долгоносков** – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, выполнение расчетов, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи / **V. F. Demin** – research idea generation, statement of the research problem, organizing material, writing the article text; **S. B. Aliev** – research idea generation, experimental work, calculations, organizing material, data preparation, analysis of results, writing the article text; **N. A. Miletenko** – statement of the research problem, data preparation, experimental work, organizing material, analysis of results, writing the article text; **O. V. Starostina** – research idea generation, statement of the research problem, calculations, organizing material, analysis of results, writing the article text; **V. N. Dolgonosov** – research idea generation, statement of the research problem, calculations, organizing material, analysis of results, writing the article text.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.11.2024.

Поступила после рецензирования: 18.01.2025.

Принята к публикации: 28.01.2025.

Article info

Received: 20.11.2024.

Revised: 18.01.2025.

Accepted: 28.01.2025.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ УСТУПА И ОБЪЕМА ОБЛОМКОВ КАМНЕПАДА НА ЕГО МАКСИМАЛЬНУЮ КИНЕТИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ПРИБЛИЖЕННОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

О. Д. Белов[✉]

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 119049,
г. Москва, Российская Федерация
✉ below2idknet@inbox.ru

Аннотация. Проведено исследование влияния геометрии уступа борта карьера и объема обломка камнепада на его кинетическую энергию. На основании результатов численного моделирования в программном комплексе RAMMS: Rockfall получены регрессионные модели, описывающие зависимость кинетической энергии обломка от его объема для различных комбинаций высот и углов наклона уступа. Выявлено, что зависимость энергии обломка от геометрии уступа носит различный характер для объемов от 0,5 до 4 м³ и от 4 до 16 м³. Регрессионные модели показали высокую сходимость с результатами численного моделирования, что позволит в дальнейшем использовать их для расчета оптимальных характеристик специальных противокаменепадных конструкций, как для месторождений уже введенных в эксплуатацию, так и для месторождений на этапе проектирования.

Ключевые слова: камнепад, форма обломка, перемещение, высота отскока, скорость, кинетическая энергия, компьютерное моделирование, топография, Python

Для цитирования: Белов О.Д. Определение влияния геометрии уступа и объема обломков камнепада на его максимальную кинетическую энергию путем создания приближенной регрессионной модели. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 76-81. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-76-81>.

DETERMINING THE INFLUENCE OF BENCH GEOMETRY AND ROCKFALL DEBRIS VOLUME ON ITS MAXIMUM KINETIC ENERGY BY CREATING AN APPROXIMATE REGRESSION MODEL

O. D. Belov[✉]

National University of Science and Technology MISIS, 119049, Moscow, Russian Federation
✉ below2idknet@inbox.ru

Abstract. In this paper, we study the influence of the quarry bench geometry and the volume of rockfall debris on its kinetic energy. Based on the results of numerical modeling in the RAMMS: ROCKFALL software package, regression models were obtained that describe the dependence of the kinetic energy of the debris on its volume for various combinations of bench heights and angles.

It was revealed that the dependence of the debris energy on the bench geometry is different for volumes from 0.5 to 4 m³ and from 4 to 16 m³. The regression models showed high convergence with the results of numerical modeling, which will allow them to be used in the future to calculate the optimal characteristics of special anti-rockfall structures, both for deposits already put into operation and for deposits at the design stage.

Keywords: rockfall, fragment shape, movement, rebound height, speed, kinetic energy, computer modeling, topography, Python

For citation: Belov O.D. Determining the influence of bench geometry and rockfall debris volume on its maximum kinetic energy by creating an approximate regression model. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):76-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-76-81>.

Введение

На сегодняшний день камнепады являются одним из наиболее опасных явлений при ведении открытых горных работ. Камнепады представляют собой перемещение объема горных масс с большой скоростью и на большие расстояния. Для минимизации потенциального материального ущерба и человеческих жертв следует лучше понимать процесс образования камнепада, а также параметры, которые влияют на конечную разрушающую силу.

Основными способами борьбы с камнепадами являются специализированные сдерживающие барьеры, которые классифицируются по максимальной энергии, которую может поглотить барьер без разрушения. Для подбора оптимального технического решения по установке барьера следует определить влияние различных параметров горных выработок на кинетическую энергию обломков камнепада.

В современных работах, посвященных исследованию камнепадных процессов, выявлено, что основными параметрами, влияющими на кинетическую энергию обломка, являются: форма обломка [1–5], угол наклона уступа [4–9], высота уступа [5–15] и объем обломка [4–13].

В данной работе проведен расчет в специализированном программном комплексе RAMMS: Rockfall для различных углов наклона и высот уступов, а также объемов обломков.

Цель исследований: определение влияние геометрии уступа и объема обломков камнепада на его максимальную кинетическую энергию путем создания приближенной регрессионной модели.

Материал и методы исследования

Для проведения численного моделирования движения обломка было создано несколько трехмерных моделей, имитирующих борт карьера, состоящих из двух уступов высотой $h = 15$ м, 40 м и 45 м с углами наклона $\alpha = 50^\circ$, 60° и 70° , шириной бермы $b = 8$ м и площадкой в основании модели, которая выступает в роли дна карьера. Основные параметры модели представлены на рисунке 1.

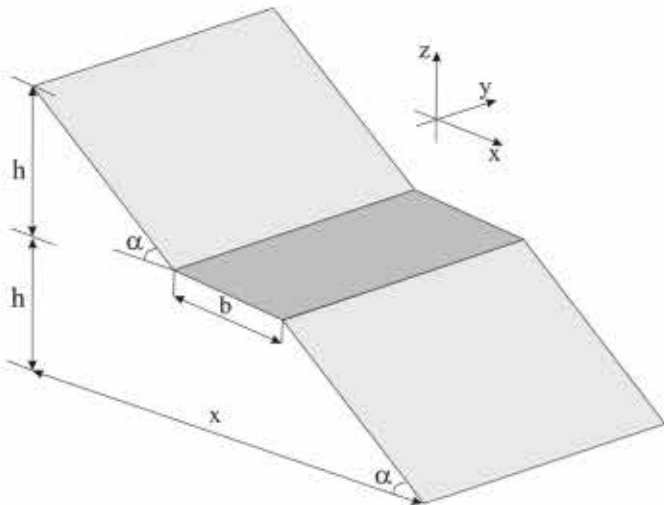


Рис. 1. Основные параметры модели: h – высота уступа; b – ширина бермы; α – угол наклона уступа

Fig. 1. Main parameters of the model: h – bench height, b – berm width, α – bench angle

Модель представляет собой жесткую неподверженную деформациям и разрушениям поверхность, что идентично по

свойствам скальным горным породам с высокими значениями физико-механических характеристик.

Для каждого набора входных данных было проведено моделирование обломков объемом от 0,5 до 16 м³. Плотность породы обломков принята равной 2 700 кг/м³.

Результаты и их обсуждение

Окно создания обломка горной массы эквивалентной формы представлено на рисунке 2.

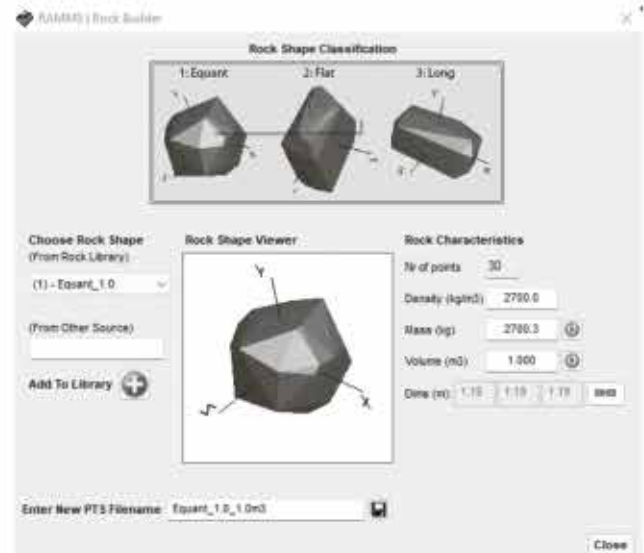


Рис. 2. Окно задания характеристик обломка эквивалентной формы
Fig. 2. Window for specifying the characteristics of a fragment of equivalent shape

В результате проведения моделирования различных объемов обломков для моделей с углами наклона 50, 60 и 70°, шириной бермы 8 м и высотой уступа 30 м были получены значения максимальной кинетической энергии обломков, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1
Зависимость максимальной кинетической энергии обломка от его объема и угла наклона уступа /
Dependence of the maximum kinetic energy of a fragment on its volume and the angle of the ledge

Объем обломка, м ³ / Volume of debris, m ³	Кинетическая энергия обломка при разных углах наклона уступа, кДж / Kinetic energy of debris, kJ		
	50°	60°	70°
0,5	317	353	389
1	650	716	801
2	1 309	1 443	1 664
3	2 012	2 185	2 680
4	2 908	3 105	3 684
8	8 289	8 395	8 760
16	17 569	19 213	20 385

График зависимости максимальной кинетической энергии обломка от объема для каждого угла наклона представлен на рисунке 3.

Вычислим среднюю кинетическую энергию, приходящуюся на 1 м³ обломка, для каждого угла наклона путем де-

ления соответствующего значения максимальной кинетической энергии на его объем.

Полученные значения представлены в таблице 2.

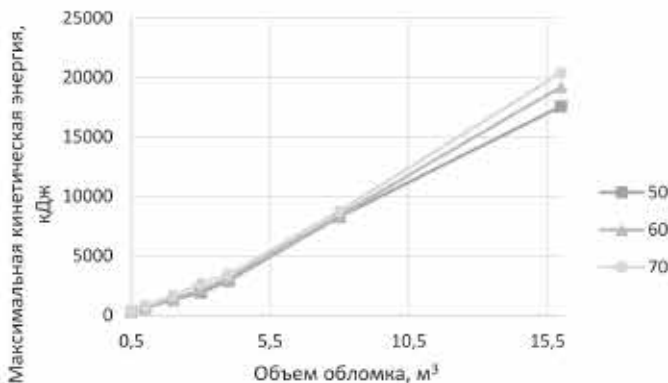


Рис. 3. График зависимости максимальной кинетической энергии обломка от объема для различных углов наклона уступа /
Fig. 3. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of the fragment on the volume for different angles of the bench

Таблица 2 / Table 2

Значения средней кинетической энергии одного метра кубического обломка для различных объемов и углов наклона уступа /
Values of average kinetic energy of one meter of cubic debris for different volumes and bench angles

Объем обломка, м³ / Volume of debris, m³	Кинетическая энергия обломка, кДж / Kinetic energy of debris, kJ			Среднее значение энергии по объему обломка, кДж / Average energy value per debris volume, kJ
	50°	60°	70°	
0,5	634	706	778	716
1	650	716	801	722
2	655	722	832	731
3	671	728	893	749
4	727	776	921	785
8	1 036	1 049	1 095	1 060
16	1 098	1 201	1 274	1 191
Среднее значение энергии по углу наклона, кДж / Average energy value by angle of incidence, kJ	777	843	932	-

По результатам, представленным в таблице 2, можно сделать вывод, что кинетическая энергия, приходящаяся на один 1 м³, растет с увеличением объема обломка. Кроме того, увеличение угла наклона ведет к росту средней кинетической энергии одного метра кубического обломка.

На основании анализа графика, представленного на рисунке 3, можно сделать вывод, что зависимость кинетической энергии для обломков до 4 м³ и свыше носит разный характер.

Разделим данный график на две части: объемом до 4 м³ и свыше 4 м³, а также подберем для каждого из графиков уравнение регрессии.

График зависимости максимальной кинетической энергии обломков объемом до 4 м³ включительно для угла наклона 50° представлен на рисунке 4, для угла наклона 60° – на рисунке 5, для угла наклона 70° – на рисунке 6.

График зависимости максимальной кинетической энер-

гии обломков объемом свыше 4 м³ для угла наклона 50° представлен на рисунке 7, для угла наклона 60° – на рисунке 8, для угла наклона 70° – на рисунке 9.

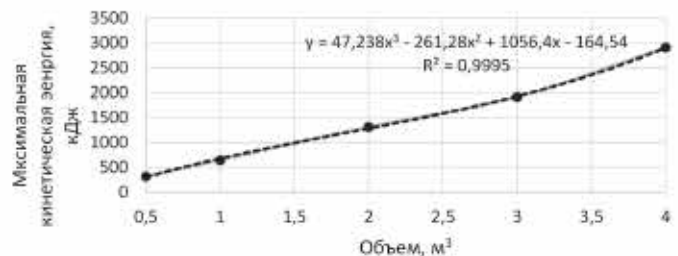


Рис. 4. График зависимости максимальной кинетической энергии обломков объемом от 0,5 до 4 м³ включительно для угла наклона уступа 50° /
Fig. 4. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of debris with a volume of 0.5 to 4 m³ inclusive for a bench angle of 50°

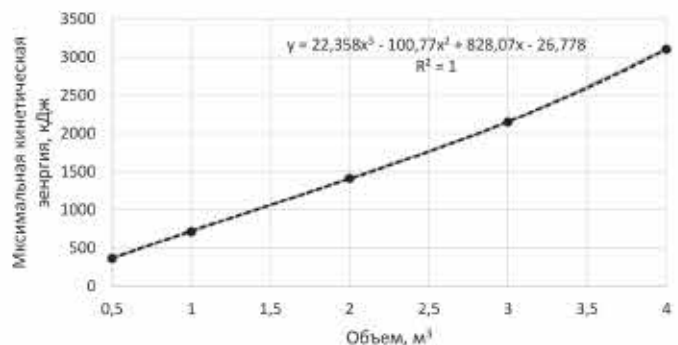


Рис. 5. График зависимости максимальной кинетической энергии обломков от 0,5 до 4 м³ включительно для угла наклона уступа 60° /
Fig. 5. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of debris with a volume of 0.5 to 4 m³ inclusive for a bench angle of 60°

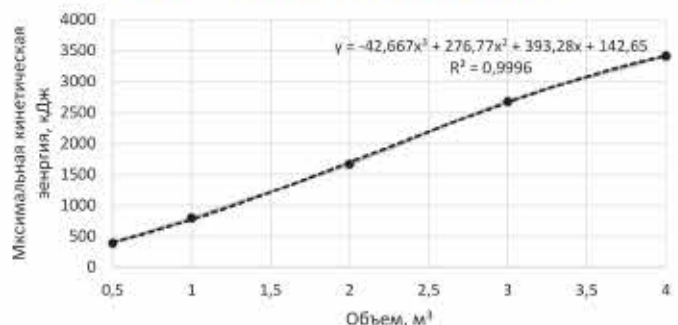


Рис. 6. График зависимости максимальной кинетической энергии обломков от 0,5 до 4 м³ включительно для угла наклона уступа 70° /
Fig. 6. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of debris with a volume of 0.5 to 4 m³ inclusive for a bench angle of 70°

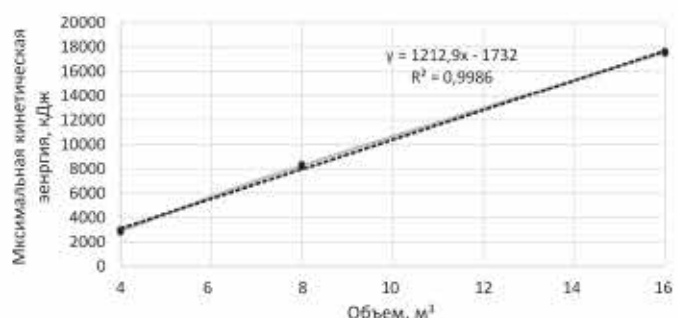


Рис. 7. График зависимости максимальной кинетической энергии обломков объемом от 0,5 до 4 м³ включительно для угла наклона уступа 50° /
Fig. 7. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of debris with a volume of 0.5 to 4 m³ inclusive for a bench angle of 50°

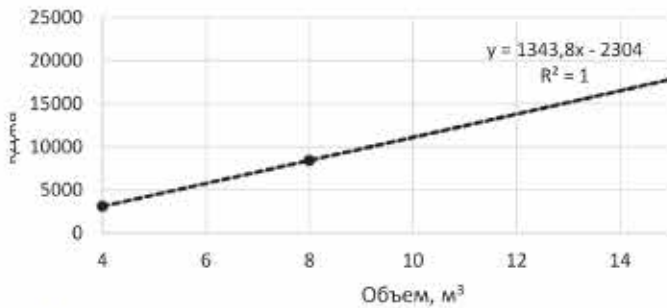


Рис. 8. График зависимости максимальной кинетической энергии обломков объемом от 4 до 16 м³ для угла наклона уступа 60° /

Fig. 8. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of debris with a volume of 4 to 16 m³ for a bench angle of 60°

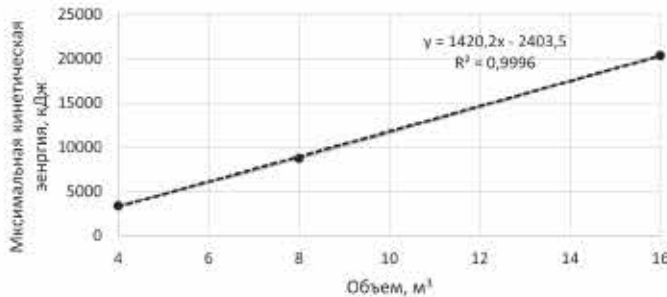


Рис. 9. График зависимости максимальной кинетической энергии обломков объемом от 4 до 16 м³ включительно для угла наклона уступа 70° /

Fig. 9. Graph of the dependence of the maximum kinetic energy of debris with a volume of 4 to 16 m³ inclusive for a bench angle of 70°

Согласно полученным значениям, зависимость кинетической энергии обломка при объемах до 4 м³ описывается полиномом третьей степени, больше 4 м³ – принимает линейный характер. В качестве подтверждения данной гипотезы произведем расчет кинетической энергии по представленным уравнениям регрессии для каждого графика и сравним с результатами моделирования соответствующих объемов. Данную операцию выполним для объемов 2,5 м³ и 12 м³, которые являются промежуточными на данных графиках. В каждом случае значение коэффициента детерминации превышает 0,99, что свидетельствует о том, что модель подобрана верно.

Сравнение расчетных значений кинетической энергии на основе регрессионной модели и значений, полученных в ходе численного моделирования, представлено в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Сравнение расчетных значений и результатов моделирования / Comparison of calculated values and simulation results

Объем, м³ / Volume, m³	Кинетическая энергия обломка, кДж / Kinetic energy of the debris, kJ					
	Расчетные значения / Calculated values			Результаты моделирования / Simulation results		
	50°	60°	70°	50°	60°	70°
2,5	1 581	1 763	2 189	1 448	1 697	2 082
12	12 823	13 822	14 639	12 246	13 076	13 998

Сходимость расчетных значений кинетической энергии и значений, полученных в ходе численного моделирования, представлена в таблице 4.

Таблица 4 / Table 4

Сходимость расчетных значений
и результатов моделирования /
Convergence of calculated values and simulation results

Объем, м³ / Volume, m³	Сходимость / Convergence		
	50°	60°	70°
2,5	91,59	96,26	95,11
12	95,50	94,60	95,62
Среднее по углу наклона / Average by angle	93,54	95,43	95,37
Среднее / Average	94,78		

Средняя сходимость результатов моделирования и расчетных значений составила 94,78 %, что показывает высокую точность подобранных уравнений регрессии и целесообразность разделения закономерностей поведения на две части.

Произведем аналогичный расчет для высот уступов 15 и 45 метров.

График зависимости максимальной кинетической энергии обломка от объема для каждого угла наклона с высотой уступа 15 метров представлен на рисунке 10.

График зависимости максимальной кинетической энергии обломка от объема для каждого угла наклона с высотой уступа 45 метров представлен на рисунке 11.

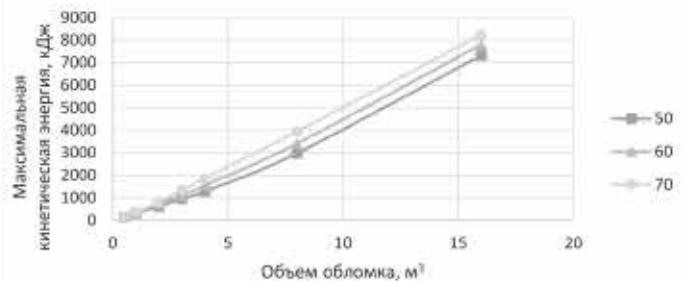


Рис. 10. График зависимости кинетической энергии от объема обломка для уступа высотой 15 м /

Fig. 10. Graph of the dependence of kinetic energy on the volume of debris for a 15-meter high ledge

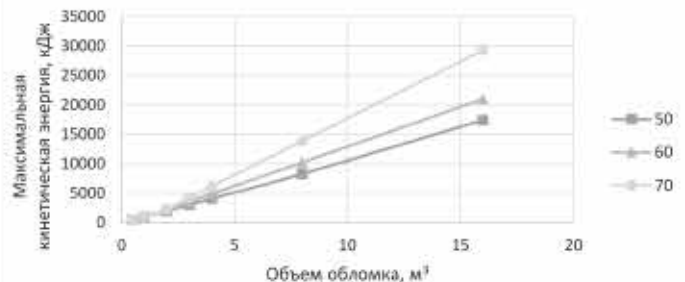


Рис. 11. График зависимости кинетической энергии от объема обломка для уступа высотой 45 м /

Fig. 11. Graph of kinetic energy versus volume of debris for a 45-meter high ledge

Результаты моделирования для уступа высотой 15 метров с различными углами наклона представлены в таблице 5, для уступа высотой 45 метров – в таблице 6.

Таблица 5 / Table 5

Значения кинетической энергии одного метра кубического для различных объемов обломков с высотой уступа 15 метров и углов наклона уступа 50, 60 и 70° /
Values of kinetic energy of one cubic meter for different volumes of debris with a bench height of 15 meters and bench angles of 50, 60 and 70°

Объем обломка, м³ / Volume of debris, m³	Кинетическая энергия обломка, кДж / Kinetic energy of debris, kJ			Среднее значение энергии по объему обломка, кДж / Average energy value per debris volume, kJ
	50°	60°	70°	
0,5	304	334	354	331
1	308	352	383	348
2	311	368	400	359
3	317	362	451	377
4	360	387	466	391
8	373	426	493	431
16	458	488	515	487
Среднее по углу наклона / Average by angle	347	388	437	-

Таблица 6 / Table 6

Значения кинетической энергии одного метра кубического для различных объемов обломков с высотой уступа 45 метров и углов наклона уступа 50, 60 и 70° /
Values of kinetic energy of one cubic meter for different volumes of debris with a bench height of 45 meters and bench angles of 50, 60 and 70°

Объем обломка, м³ / Volume of debris, m³	Кинетическая энергия обломка, кДж / Kinetic energy of debris, kJ			Среднее значение энергии по объему обломка, кДж / Average energy value per debris volume, kJ
	50°	60°	70°	
0,5	936	1004	1048	996
1	954	1067	1098	1 040
2	971	1076	1136	1 061
3	1014	1197	1395	1 202
4	1021	1228	1539	1 263

Продолжение таблицы 6 / Continuation of table 6

Объем обломка, м³ / Volume of debris, m³	Кинетическая энергия обломка, кДж / Kinetic energy of debris, kJ			Среднее значение энергии по объему обломка, кДж / Average energy value per debris volume, kJ
	50°	60°	70°	
8	1032	1276	1731	1 347
16	1088	1313	1832	1 411
Среднее по углу наклона / Average by angle	1002	1166	1397	-

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований определения влияния геометрии уступа и объема обломка камнепада на его кинетическую энергию.

2. Определено влияние геометрии уступа (высоты и угла наклона), а также объема обломка камнепада на его кинетическую энергию.

3. Установлено, что увеличение высоты уступа прямо пропорционально росту максимальной кинетической энергии обломка; увеличение угла наклона уступа ведет к росту средней кинетической энергии одного кубического метра обломка; а увеличение объема ведет к росту максимальной и средней кинетической энергии одного кубического метра обломка.

4. Выявлено, что зависимость энергии обломка от геометрии уступа носит различный характер для объемов от 0,5 до 4 м³ и от 4 до 16 м³.

5. На основании полученных данных можно вывести уравнения регрессии, которые описывают зависимость максимальной кинетической энергии обломка для различных высот уступов и углов наклона со сходимостью порядка 95 %, что является достаточным для первичной оценки значений.

6. Результаты проведенного исследования могут быть полезны при подборе оптимальных характеристик противокамнепадных барьеров без применения специализированных программ для численного моделирования движения обломков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Krautblatter M, Moore JR. Rock slope instability and erosion: toward improved process understanding. *Earth Surf. Process. Landform.* 2014;39:1273-278.
- D'Amato J, Guerin A, Hantz D, et al. Engineering Geology for Society and Territory. *Professional Ethics and Public Recognition of Engineering Geology.* 2014;2:1919-23.
- Blott SJ, Pye K. Particle shape: a review and new methods of characterization and classification. *Sedimentology.* 2008;55:31-63.
- Zhang Y, Xie L, He B, Zhao P. Research on the Impact Force of Rockfall Impacting Sand Cushions with Different Shapes. *Applied Sciences.* 2022;12(7):3540. doi: 10.3390/app12073540.
- Yi G, Xiang-Rong H, Xi-Qiang Y, et al. Analysis of Rockfall Hazards Stopping position and Energy dissipation based on Orthogonal experiment. *E3S Web Conf.* 2021;261:01004. doi: 10.1051/e3sconf/202126101004.
- Zheng L, Zhu Z, Wei Q, et al. Stochastic Rockfall Model Related to Random Ground Roughness Based on Three-Dimensional Discontinuous Deformation Analysis. *Front. Earth Sci.* 2021;9:819751. doi: 10.3389/feart.2021.819751.
- Wang Y, Jiang W, Cheng S, et al. Effects of the impact angle on the coefficient of restitution in rockfall analysis based on a medium-scale laboratory test. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2018;18(11):3045-61. doi: 10.5194/nhess-18-3045-2018, 2018.
- Bourgeois J, Warren S, Armstrong J. Utilization of statistical analysis to identify influential slope parameters associated with rockfall at open pit mines. *Min. Metall. Explor.* 2023;40(4):1101-12. doi: 10.1007/s42461-023-00776-4.
- Bourgeois J, Warren S, Armstrong J. Utilization of Statistical Analysis to Identify Influential Slope Parameters Associated with Rockfall at Open Pit Mines. *Mining, Metallurgy & Exploration.* 2023;40(4):1101-12. Doi: 10.1007/s42461-023-00776-4.
- Duan S, Yang X, Xu B, et al. The Influence of Gravel Particle Diameter and Slope Angle on a Rockfall-Cushion Layer Collision. *Geotech. Geol. Eng.* 2022;40:5127-38. doi: 10.1007/s10706-022-02207-5.

11. Duan S, Yu H, Xu B. Numerical simulation of a rockfall impacting a gravel cushion with varying initial angular velocity and particle sizes. *Granular Matter*. 2023;25(33). doi: 10.1007/s10035-023-01320-3
12. Hernández-Gutiérrez LE, Miranda A, Ferrer M. Rockfall Hazard Assessment in Volcanic Regions Based on ISVS and IRVS Geomechanical Indices. *Geosciences*. 2020;10(6):220. doi: 10.3390/geosciences10060220.
13. Luo G, Zhao Y, Shen W, et al. An analytical method for the impact force of a cubic rock boulder colliding onto a rigid barrier. *Nat. Hazards*. 2022;112:603-18. doi: 10.1007/s11069-021-05196-5.
14. Umili G, Taboni B, Ferrero AM. Influence of uncertainties: A focus on block volume and shape assessment for rockfall analysis. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2023;15(9):2250-63. doi: 10.1016/j.jrmge.2023.03.016.
15. Torsello G, Vallero G, Castelli M. The role of block shape and slenderness in the preliminary estimation of rockfall propagation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021:833. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/833/1/012177>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*Олег Дмитриевич Белов –
аспирант кафедры физических процессов горного
производства и геоконтроля, Национальный
исследовательский технологический университет
«МИСИС», 119049, г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: below2idknet@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-0129-9484>*

ABOUT THE AUTHOR

*Oleg D. Belov –
postgraduate student of the Department of Physical Processes
of Mining Production and Geocontrol of National University
of Science and Technology MISIS, 119049, Moscow, Russian
Federation, e-mail: below2idknet@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0129-9484>*

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.01.2025.

Поступила после рецензирования: 28.01.2025.

Принята к публикации: 30.01.2025.

Article info

Received: 13.01.2025.

Revised: 28.01.2025.

Accepted: 30.01.2025.

Г. С. Курчин, А. О. Шигин, А. Н. Анушенков, А. К. Кирсанов✉, Е. П. Волков
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация
✉ Kirsanov@sfu-kras.ru

Аннотация. Рассмотрены возможности и ограничения использования беспилотных летательных аппаратов при подземном освоении месторождений полезных ископаемых. Проведен анализ ключевых функций подземных дронов, а также требований, предъявляемых к их конструкции и технологиям для работы в сложных подземных условиях. Основное внимание уделено задачам, которые дроны решают в подземных выработках, включая мониторинг состояния крепей, картографирование и 3D-моделирование, экологический и горный мониторинг и т. д. Обозначены технические и эксплуатационные проблемы, такие как ограничение радиосигнала, воздействие высокой влажности и экстремальных температур, которые могут снижать эффективность использования дронов. Сделаны выводы о значении подземных дронов для повышения безопасности и эффективности горных работ, а также даны рекомендации по их дальнейшему развитию в рамках цифровизации и автоматизации подземных операций. Результаты исследования могут быть использованы научным сообществом в качестве информационного источника.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, подземная добыча, дроны в шахтах, безопасность, мониторинг, картографирование, автоматизация

Для цитирования: Курчин ГС, Шигин АО, Анушенков АН и др. Использование беспилотных летательных аппаратов для управления процессами подземных горных работ. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 82-86. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-82-86>.

G. S. Kurchin, A. O. Shigin, A. N. Anushenkov, A. K. Kirsanov✉, E. P. Volkov
Siberian Federal University, Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation
✉ AKirsanov@sfu-kras.ru

Abstract. The article discusses the possibilities and limitations of using unmanned aerial vehicles in the underground development of mineral deposits. The article analyzes the key functions of underground drones, as well as the requirements for their design and technology to work in complex underground conditions. The main attention is paid to the tasks that drones solve in underground mine workings, including monitoring of the condition of supports, mapping and 3D-modeling, environmental and mining monitoring, etc. Technical and operational challenges such as radio signal limitations, exposure to high humidity and extreme temperatures that can reduce the effectiveness of drone use are highlighted. Conclusions are drawn on the importance of underground drones in improving the safety and efficiency of mining operations, and recommendations are made for their further development within the framework of digitalization and automation of underground operations. The results of the study can be used by the scientific community as an information source.

Keywords: drones, underground mining, drones in mines, safety, monitoring, mapping, automation

For citation: Kurchin GS, Shigin AO, Anushenkov AN, et al. Use of unmanned aerial vehicles in the underground method of field development. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):82-86. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-82-86>.

Введение

Современная горнодобывающая промышленность, являясь одной из ключевых отраслей мировой экономики, сталкивается с рядом серьезных вызовов, включая повышение требований к безопасности, рост затрат на разработку месторождений и необходимость оптимизации производственных процессов [1–3]. Эти задачи особенно актуальны при подземной добыче полезных ископаемых, которая сопряжена с многочисленными рисками для жизни и здоровья персонала, а также с высокими затратами на поддержание безопасности работ. В последние годы технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), адаптированных для горнодобывающей промышленности в целом и для подземных условий в частности, открыли новые перспективы в сфере эффективного освоения месторождений [4–7]. Эти аппараты позволяют оперативно решать задачи, связанные с инспекцией выработок (мониторинг состояния крепей подземных горных выработок, оценка безопасности на рабочих участках и т. д.).

Использование подземных дронов, оснащенных системами высокоточной навигации, видеосъемки, лидаров и датчиков для анализа воздушной среды, значительно расширяет возможности управления процессами подземных горных работ. Однако отсутствие естественного освещения, повышенные концентрации пыли и необходимость работы в ограниченных пространствах накладывают специфические требования на характеристики БПЛА и профессионализм его операторов, что обуславливает невысокую популярность использования данного вида систем при освоении подземных месторождений [8].

Использование беспилотных летательных аппаратов может способствовать улучшению условий труда для рабочих, а также позволит существенно сэкономить ресурсы и время на сбор данных для планирования горнопроходческих работ. Внедрение дронов является неотъемлемой частью цифровизации и автоматизации на подземных рудниках, что на сегодняшний день является важным фактором для устойчивого развития всей горнодобывающей отрасли.

Цель исследования: провести анализ использования БПЛА при подземном способе освоения месторождений полезных ископаемых, а также оценить их потенциал для повышения безопасности и эффективности производственных процессов.

Методология

Методологическая основа исследования включает анализ актуальных научных и технических данных о применении беспилотных летательных аппаратов при подземной добыче полезных ископаемых. Осуществлен анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, технологических отчетов, обзоров рынка БПЛА, а также материалов ведущих компаний, разрабатывающих специализированные дроны для подземных условий. Источники информации были выбраны с учетом практического опыта внедрения технологий в горнодобывающую промышленность.

Результаты и обсуждение

Анализ рынка подземных БПЛА показывает, что их разработка и производство сосредоточены в экономически развитых регионах, где горнодобывающая промышленность занимает ключевое место. Подземные дроны требуют сложных

технологий навигации, высокой надежности и адаптивности к экстремальным условиям, для чего привлекаются ведущие мировые технологические компании. Практически в каждом регионе мира представлены компании, которые разрабатывают и выпускают дроны для использования в горнодобывающей промышленности (Exyn Technologies – США, Atlas Dynamics – Латвия, Airobotics – США, Flyability SA – Швейцария, Terra Drone Europe – Япония, DJI – Китай, Emesent – Австралия, Percepto – Израиль), хотя географический уровень распространения их продукции и основное направление деятельности могут различаться.

Основное назначение дронов при освоении месторождений полезных ископаемых подземным способом – проведение инспекции выработок, мониторинг состояния горного массива, анализирование структуры породы, а также создание точных 3D-карт сложных подземных пространств. Благодаря возможности работы в труднодоступных или запрещенных для нахождения людей зонах и в условиях ограниченной видимости дроны минимизируют риски для людей и повышают точность получаемых данных, что критически важно при проектировании и планировании дальнейших работ.

В таблице представлены основные (по данным проведенного литературного анализа [9–14]) аспекты использования дронов в подземном пространстве.

Как показано в таблице, подземные дроны могут играть значимую роль в различных аспектах подземных горных работ, однако их использование в таких сложных условиях сопряжено с рядом технических и эксплуатационных проблем.

Специфичные условия использования дронов под землей (наличие множества препятствий, ограниченная видимость и др.) обуславливают предъявление особых требований к их конструкциям. В частности, такие дроны должны обладать способностью к маневрированию и устойчивостью к столкновениям с различными препятствиями. Оптимальным решением является оснащение дронов системой обнаружения и уклонения от препятствий в реальном времени. С учетом динамичного расширения выработок на подземных рудниках зона покрытия радиосигнала должна увеличиваться, что усложняет задачу обеспечения связи с дроном в ходе обычной эксплуатационной деятельности, а также в экстренных ситуациях.

Основной проблемой, связанной с использованием дронов на подземных рудниках, является распространение радиосигнала в условиях горных работ. Для эффективного управления дроном необходима надежная радиосвязь между аппаратом и оператором с пультом управления. Однако в подземных условиях существует множество факторов, таких как поглощение сигнала горной породой и различными конструкциями (крепь, оборудование, коммуникации и т. д.), которые могут привести к потере связи, особенно когда дрон отдаляется от точки базирования. Одним из решений этой проблемы является внедрение системы усиленной передачи сигнала, которая позволяет дрону продолжать полет на значительные расстояния и в сложных геометрических условиях подземных выработок без потери связи. Эта система также обеспечивает постоянную передачу видеoinформации с камеры дрона, что значительно повышает эффективность и безопасность выполнения операций.

Время автономной работы дронов ограничено емкостью аккумуляторных батарей. Для выполнения длительных полетов (например, мониторинга подземных выработок) требуется использование дронов с возможностью быстрой замены ба-

»	°	» °	°
° ° °	° ° °	°	°
”	” °	° ” °	°
	° °	° °	°°
	°		°
	°		
	° °	°	°
	° ° °	°	° ° °

тарей. К негативным факторам, влияющим на продолжительность работы дрона, относятся высокая влажность и низкие температуры, которые могут сократить срок службы батарей. В целях увеличения продолжительности полетов на длительных маршрутах некоторые модели дронов оснащаются гибридными системами питания, объединяющими аккумуляторные батареи и двигатели внутреннего сгорания [15].

Кроме того, повышенная влажность и возможное попадание влаги в конструкцию дронов могут привести к повреждению электронных компонентов, а также вызвать сбой в системе связи между дроном и оператором. Для обеспечения бесперебойной работы и повышения надежности требуется защита аппаратуры от воздействия влаги.

Еще одним немаловажным аспектом является видимость, поскольку при низкой освещенности или запыленности исследуемого участка работа дрона может стать затруднительной. Это требует применения специальных сенсоров, таких как тепловизоры, или инфракрасные камеры, для обеспечения качественного мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций.

Учитывая вышеизложенное, можно подытожить, что анализ текущих технологий и областей применения подземных беспилотных летательных аппаратов показывает значительный потенциал для их интеграции в подземные горные работы. Современные дроны, оснащенные высокоточными навигационными системами, лидарными датчиками, инфракрасными камерами и системами контроля воздушной среды, могут эффективно решать задачи, связанные с мониторингом и картографированием подземных пространств. Их использование позволяет минимизировать присутствие людей в потенциально опасных зонах, что существенно снижает риск

несчастных случаев и повышает точность получаемых данных для планирования дальнейших работ.

Тем не менее эксплуатация дронов в подземных условиях сопряжена с рядом таких проблем, как необходимость обеспечения устойчивой связи на удаленных участках, ограниченное время автономной работы, а также повышенные требования к защитным конструкциям аппаратов. Для полноценного использования дронов требуется комплексное решение этих проблем, включая внедрение систем усиленной передачи сигнала, более емких и надежных источников энергии, а также применения специализированных материалов и покрытий для защиты от влаги и пыли.

Заключение

Внедрение беспилотных летательных аппаратов в подземную горнодобывающую промышленность открывает новые возможности для повышения безопасности и эффективности производственных процессов. Очевидно, что подземные дроны способны значительно снизить риски, связанные с нахождением персонала в опасных участках, и обеспечить оперативное и точное получение данных при мониторинге технического состояния выработок (контроль параметров горного массива, состояние крепления, параметров окружающей среды). Однако эффективное использование дронов в подземных условиях сопряжено с рядом технологических вызовов – для успешной работы аппараты должны обладать высокой маневренностью, устойчивостью к столкновениям, а также надежной радиосвязью на значительном удалении от оператора.

Перспективы использования дронов в подземной добыче полезных ископаемых будут напрямую зависеть от даль-

нейшего развития технологий, направленных на улучшение устойчивости, надежности и автономности аппаратов. Таким образом, подземные БПЛА становятся неотъемлемой частью цифровизации горнодобывающей промышленности и вносят вклад в устойчивое развитие отрасли, предоставляя безопасные и эффективные инструменты для выполнения задач в самых сложных и труднодоступных местах.

Выводы

1. Использование подземных беспилотных летательных аппаратов представляет собой перспективное технологиче-

ское решение для повышения безопасности и эффективности работ.

2. Для расширения использования БПЛА в подземной добыче необходимо развивать научно-технический прогресс в области связи, автономной навигации и энергообеспечения, что позволит преодолеть текущие ограничения и повысить эффективность и безопасность горных работ.

3. Внедрение БПЛА в подземную добычу способствует ускорению цифровизации и автоматизации производственных процессов, что является важным этапом устойчивого развития горнодобывающей отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Татаркин АИ, Корнилов СВ, Яковлев ВЛ и др. Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях на основе модернизации техники и технологии горного производства. *Экономика региона*. 2012;4(32):80-92.
Tatarkin AI, Kornilkov SV, Yakovlev VL, et al. Technological development forecast in the mining industry based on modernization of mining equipment and technology. *Economy of Region*. 2012;4(32):80-92. (In Russ.). doi: 10.17059/2012-4-7.
2. Зайцев ВМ, Жигальская ЛО. Постиндустриальные сдвиги в добывающей промышленности мира. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2022;(1):71-86.
Zaytsev VM, Zhigalskaya LO. Post-industrial shifts in the world mining industry. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2022;(1):71-86. (In Russ.). doi: 10.33581/2521-6740-2022-1-71-86.
3. Назарматов АА. Роль горнорудной отрасли в развитии промышленности страны. *Вестник Сургутского государственного университета*. 2021;1(31):50-6.
Nazarmatov AA. Role of the mining sector in industrial development. *Bull. Surgut State Univ.* 2021;1(31):50-6. (In Russ.). doi: 10.34822/2312-3419-2021-1-50-56.
4. Minh DT, Dung NB. Applications of UAVs in mine industry: A scoping review. *Journal of Sustainable Mining*. 2023;22(2):5. doi: 10.46873/2300-3960.1384.
5. Rathore I, Kumar NP. Unlocking the potentiality of UAVs in mining industry and its implications. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2015;4(3):852-5.
6. Артем С. Применение беспилотных летательных аппаратов на горнодобывающих предприятиях. *Горная промышленность*. 2018;6(142):60.
Artem S. Application of unmanned aerial vehicles in mining enterprises. *Mining Industry*. 2018;6(142):60. (In Russ.).
7. Смоленцева АМ. Использование беспилотных летательных аппаратов в горном деле. *StudNet*. 2021;4(7):3.
Smolentseva AM. Use of unmanned aerial vehicles in mining. *StudNet*. 2021;4(7):3. (In Russ.).
8. Shahmoradi J, Talebi E, Roghanchi P, et al. Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry. *Drones*. 2020;4(3):34. doi: 10.3390/drones4030034.
9. Lee S, Choi Y. Reviews of Unmanned Aerial Vehicle (Drone) Technology Trends and Its Applications in the Mining Industry. *Geosystem Engineering*. 2016;19(4):197-204. doi: 10.1080/12269328.2016.1162115.
10. Dunnington L, Nakagawa M. Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over. *Environmental Pollution*. 2017;229:139-45. doi: 10.1016/j.envpol.2017.05.063.
11. Villaescusa E. Rock Mass Characterization. *Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping*. Boca Raton, United States, 2014:78.
12. Mirzaeinia A, Shahmoradi J, Roghanchi P, et al. Autonomous routing and power management of drones in gps-denied environments through Dijkstra algorithm. *Proceedings of the AIAA Propulsion and Energy Forum and Exposition, Indianapolis, IN, USA, 19–22 August 2019*. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. (AIAA), 2019.
13. Freire G, Cota R. Capture of images in inaccessible areas in an underground mine using an unmanned aerial vehicle. *Proceedings of the 1st International Conference on Underground Mining Technology Sudbury*, ON, Canada, 11–13 October 2017.
14. Samaei M, Stothard P, Shirani Faradonbeh R, et al. Mine Closure Surveillance and Feasibility of UAV–AI–MR Technology: A Review Study. *Minerals*. 2024;14(1):110. doi: 10.3390/min14010110.
15. Gong A, Verstraete D. Design and Bench Test of a Fuel-Cell/Battery Hybrid UAV Propulsion System using Metal Hydride Hydrogen Storage. *Proceedings of the 53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Atlanta, GA, USA, 10–12 July 2017*. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 2017.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Георгий Сергеевич Курчин –
д-р техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Сибирский
федеральный университет», 660041, г.
Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: GKurchin@sfu-kras.ru



ABOUT THE AUTHORS

Georgii S. Kurchin –
Ph. D. in Engineering, Associate Professor, Siberian
Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian
Federation, e-mail: GKurchin@sfu-kras.ru



Андрей Олегович Шигин –
д-р техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: AShigin@sfu-kras.ru

Andrey O. Shigin –
Ph. D., Associate Professor, Siberian Federal
University, 660041, Krasnoyarsk, Russian
Federation, e-mail: AShigin@sfu-kras.ru



Александр Николаевич Анушенков –
д-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Aleksandr N. Anushenkov –
Ph.D., Professor, Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation,
e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru



Александр Константинович Кирсанов –
канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Aleksandr K. Kirsanov –
Ph. D. in Engineering, Associate Professor, Siberian
Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian
Federation, e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru



Евгений Павлович Волков –
канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: EVolkov@sfu-kras.ru

Evgeny P. Volkov –
Ph. D. in Engineering, Associate Professor, Siberian
Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian
Federation, e-mail: EVolkov@sfu-kras.ru

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.11.2024.

Поступила после рецензирования: 14.01.2025.

Принята к публикации: 15.01.2025.

Article info

Received: 21.11.2024.

Revised: 14.01.2025.

Accepted: 15.01.2025.

Д. И. Бедарев[✉], В. Е. Кисляков

Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация

✉ Bedarevdenisigorevich@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ часто применяемого оборудования при разработке россыпных месторождений золота. Осуществлено разделение применяемого оборудования по образованию избыточного выработанного пространства в период разработки месторождения. Проанализированы ранее опубликованные исследования в области образования техногенного ресурса на угольных предприятиях. Вследствие проанализированной информации выявлена значимость исследования избыточного выработанного пространства и разработки технологии использования техногенного ресурса на базе россыпных месторождений предприятия АО «Прииск Удереиский», расположенных в Красноярском крае и Читинской области, а также для определения факторов формирования избыточного выработанного пространства и разработки технологии производства вскрышных работ с использованием техногенного ресурса.

Ключевые слова: избыточное выработанное пространство, техногенный ресурс, гидромеханизация, оттайка, паводок

Для цитирования: Бедарев ДИ, Кисляков ВЕ. Образование техногенного ресурса при разработке россыпных месторождений золота. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 87-90. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-87-90>.

D. I. Bedarev[✉], V. E. Kislyakov

Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ Bedarevdenisigorevich@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the importance of studies of excess mined space during the development of placer gold deposits. The paper analyzes the frequently used equipment in the development of placer gold deposits. The separation of the equipment used for the formation of excess exhaust space (IVP) during the development of the field was carried out. The analysis of previously published studies in the field of technogenic resource formation at coal enterprises has been carried out. As a result of the analyzed information, the significance of the study of excess developed space and the development of technology for the use of man-made resources on the basis of placer deposits of the JSC Priisk Udereisky enterprise located in the Krasnoyarsk Territory and the Chita region, as well as to determine the factors of the formation of the IVP and the development of technology for the production of stripping using man-made resources, was revealed.

Keywords: Excess developed space, man-made resource, hydromechanization, defrost, flood

For citation: Bedarev DI, Kislyakov VE. Formation of a man-made resource during the development of placer gold deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):87-90. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-87-90>.

Введение

На глобальном уровне Россия занимает третью позицию среди стран мира по объему извлечения золота после Китая и Австралии. В среднем за год на территории России добывается порядка 430 тонн благородного металла, что сопоставимо с десятипроцентной долей в мировом производстве. Запасы драгоценного желтого металла превышают 15 300 тонн и распределены более чем по шести тысячам ме-

сторождений; из них подавляющее большинство (90 %) – россыпные [1–2].

Особенностью золотодобывающей индустрии в России является резкое отличие от мировых тенденций. В то время как глобально за XX век на россыпи приходилось лишь 16 % добычи золота, для российской экономики характерна доминирующая роль именно таких месторождений. Лишь с началом XXI века доля коренных запасов значительно возросла, однако даже после

открытия крупных рудных залежей в Якутии, Магадане и Иркутске россыпной метод продолжает обеспечивать около 20 % (около 90 тонн ежегодно) от общего объема добычи золота в стране.

На территории Российской Федерации общие резервы россыпи составляют значительное количество: порядка 1 122 тонн.

Географическое распределение россыпного золота выглядит следующим образом:

- в Республике Саха (Якутия) сосредоточено почти четверть всех российских запасов россыпного золота: около 278 тонн, или около 75 % общероссийского потенциала, что делает ее ключевым регионом;

- Магаданская область хранит примерно 138 тонн, или около 12 % общероссийского потенциала;

- Иркутская и Амурская области, Чукотский автономный округ (ЧАО), Забайкалье объединяет значимость, каждая из которых располагает не менее чем 5 % общероссийского потенциала.

В диапазон между 3 и 5 % общероссийского потенциала входят регионы:

- Хабаровский край;
- Красноярский край;
- Республика Коми;
- Свердловская область.

В диапазон между 1 и 3 % общероссийского потенциала входят регионы:

- Республика Бурятия;
- Кузбасс;
- Челябинская область;
- Приморье.

Разработка россыпных месторождений золота остается актуальной и в наше время.

Цель исследований: обоснование значимости исследований избыточного выработанного пространства в период разработки россыпных месторождений золота.

Материал и методы исследования

В основу методов исследования легли теоретические и эмпирические методы, что подразумевает под собой сравнение теоретических материалов по образованию избыточного выработанного пространства (ИВП) и сравнение данных материалов с практическими особенностями, встречающимися в процессе разработки месторождений.

Был проведен анализ предыдущих работ по образованию ИВП в период эксплуатации месторождений. Одним из основных результатов исследования является отсутствие полного понимания образования ИВП в различных горно-геологических условиях и его использования в период эксплуатации месторождений.

Результаты исследования

Анализ оборудования при открытом способе разработки россыпных месторождений

Наиболее часто встречаемая отработка россыпных месторождений золота – открытый способ разработки [3–4]. При открытом способе разработки золота применяются средства гидромеханизации, драги, земснаряды, экскаваторы различных типов, скреперы, бульдозеры. Применяемое оборудование можно разделить на два типа. Первый тип не образует выработанного пространства в процессе отработки россыпного месторождения золота, второй тип образует.

К первому типу применяемого оборудования относятся драги, ко второму – средства гидромеханизации, земснаряды, экскаваторы различных типов, скреперы, бульдозеры.

Дражная разработка россыпных месторождений встречается не так часто, но в настоящее время продолжается, несмотря на то, что большинство богатых месторождений уже отработано, а разведка новых значительно сокращена. Вследствие этого повторно переминаются отвалы и хвостохранилища ранее отработанных россыпей, но уже посредством стационарных промысловых приборов и с применением мобильной техники.

Достоинствами дражной разработки являются: высокий уровень механизации и автоматизации трудоемких производственных процессов; небольшая численность обслуживающего персонала; низкая себестоимость добычи полезного ископаемого по сравнению с другими возможными способами разработки [5–6]. К недостаткам относится: ограниченность применения, отсутствие возможности точного учета и контроля эксплуатационных потерь продуктивных пород (песков), поэтому их область применения ограничена.

На смену драгам приходит оборудование *мобильного* типа, такие как средства гидромеханизации, земснаряды, экскаваторы различных типов, скреперы, бульдозеры. Применение данного типа оборудования обусловлено расположением россыпных месторождений золота в труднодоступных участках ведения горных работ по всей России, что представляет собой малоразвитую инфраструктуру и доступность участка. А применение оборудования на дизельном ходу способствует своевременному выполнению различных технологических решений и производственных задач [7–9].

К достоинствам *мобильного* типа оборудования можно отнести: маневренность; оперативное выполнение производственных задач; предварительное рыхление в условиях Крайнего Севера; простоту технологических процессов; повышение извлечения золота посредством сокращения разубоживания; отработку глубокозалегающих россыпей; возможность выполнения производственных задач в труднодоступных местах расположения горных работ без стационарного электричества; высокую производительность вскрышных, горно-подготовительных и добычных работ. К недостаткам по сравнению с дражным способом отработки можно отнести: низкую себестоимость участка; повышенный штат работников; логистику в поставке запасных частей, сложность работ при отрицательных температурах.

Исходя из вышеизложенного сделан вывод, что месторождения россыпного золота с небольшими запасами (от 100 до 500 кг) целесообразней обрабатывать открытым способом с применением мобильной техники на дизельном ходу. Но при отработке россыпных месторождений золота с применением таких типов оборудования есть одно важное ограничение, из которого вытекают отрицательные последствия, связанные с экономической целесообразностью, – это сезонность работ.

Сезонность работ ограничена температурным режимом промывки песков, который составляет в различных регионах России в среднем 5–7 месяцев: с конца апреля до конца ноября. Из этого следует, что недропользователю в предзимний, зимний и часть после зимнего периода необходимо выполнить большой объем вскрышных и горно-подготовительных работ до момента оттайки вскрышных пород и периода паводка. Все это приводит к сложности отработки месторождения и снижению производительности применяемой техники в период наступления тяжелых условий ведения горных

работ. Одновременно отработка россыпных месторождений осуществляется в поймах рек, где заведомо известно, что большая часть вскрышных пород будет обводнена и без таких сложных условий, как оттайка пород и паводок [10].

Таким образом, недропользователь до периода оттайки вскрышных пород и периода паводка старается провести опережающую вскрышу и располагает ее, как правило, на бортах карьера, тем самым образуется большое выработанное пространство вытянутой формы вдоль русел рек. Образованное выработанное пространство представляется выработкой по всей россыпи месторождения, которая в последующем не используется или же используется, но не в полном объеме. Часть выработанного пространства используется лишь для пруда-отстойника, что занимает около 30 % всего выработанного пространства. Данная ситуация говорит о том, что отсутствует эффективная технология ведения вскрышных работ на обводненных россыпных месторождениях золота и технология использования выработанного пространства.

Анализ работ, посвященных избыточному выработанному пространству

В трудах Е. В. Еременко и В. Н. Синьковского [11–12] выработанное пространство представлено избыточным выработанным пространством (ИВП), подразумевающим под собой ту часть внутреннего выработанного пространства, которое образовалось в период эксплуатации месторождения. И оно может быть использовано технологически. ИВП ограничено по флангам вскрышными выработками, по дневной поверхности – ранее существующей линией земной поверхности, а нижняя часть ограничена дном карьера. Данные исследования были определены на базе угольных месторождений Канско-Ачинского бассейна при разработке горизонтальных и слабонаклонных залежей. Мощность пласта варьировалась от 3 до 93 м, мощность вскрыши на выходах пласта под наносы – 8–12 м. Также представлена сущность концепции [12], связанная с «Обоснованием порядка разработки обширных мощных месторождений слабонаклонного залегания». Установлено первоначальное место расположения отстающего блока и периода ввода его в эксплуатацию с учетом закономерностей формирования ИВП в опережающем блоке. Освещено перемещение вскрыши по минимальному расстоянию в ИВП опережающего блока через торцы по системе скользящих съездов. Описано формирование поверхности техногенных отвальных ярусов до господствующего уровня дневной поверхности.

В продолжение трудов Е. В. Еременко, А. И. Косолапова [13] обоснованы направления развития горных работ и особенности проектирования угольных месторождений на основании использования ИВП, что способствует сокращению площади отчуждаемых земель путем сокращения плеча

транспортировки вскрышных пород. Особенности проектирования, представленные в трудах Е. В. Еременко, направлены на высокопроизводительные угольно-добывающие предприятия, сроки отработок которых представлены десятилетиями, где техногенный ресурс копился годами. Что не скажешь про россыпные месторождения золота, где средний срок отработки балансовых запасов составляет от 3 до 5 лет. Образование и использование техногенного ресурса в период проектирования и эксплуатации россыпных месторождений золота заведомо отличается от того, что представлено в трудах авторов.

В трудах [14] приведен анализ повышения производительности участка гидромеханической добычи золота (УГ-МДЗ) № 1 за счет совершенствования технологии вскрытия путем направления перемещения вскрыши и планирования работ вскрышного оборудования, что привело к рациональному использованию земель. Данный анализ подтвержден методикой горно-экономических задач [15]. Он приемлем в условиях одного участка ведения горных работ, что заведомо ограничено в условиях предприятия с годовой производительностью до 836,1 кг золота. Присутствует необходимость переоценки и пересмотра технологии ведения вскрышных работ в условиях предприятия в целом.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований сравнения ИВП с различными горно-геологическими условиями. Под горно-геологическими условиями подразумевается ведение горных работ с высокой и малой производительностью предприятий, а также период их отработки; классификация полезного ископаемого (уголь/золото).

2. Выявлено, что одними из ключевых фактором образования ИВП является мощность добычного пласта, мощность вскрышных пород, а также технология ведения вскрышных работ.

3. Анализ возможности использования технологии вскрышных работ на угольных месторождениях для отработки россыпных месторождений золота показал отрицательный результат. Считаем неприемлемым использовать данные исследования для отработки россыпных месторождений золота. Причина – различия применяемых технологий по геологическим и гидрогеологическим особенностям месторождений, а также по факторам образования техногенного ресурса.

4. Рекомендуются проведение исследований формирования ИВП и разработки технологии производства вскрышных работ с использованием техногенного ресурса на базе россыпных месторождений предприятия АО «Прииск Удерецкий», расположенных в Красноярском крае, Читинской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Зуев КН. Состояние и тенденции развития золотопромышленности в мире и России. *Экономика промышленности*. 2014;2:114-20. Zuev KN. The state and development trends of the gold industry in the world and Russia. *Economics in industry*. 2014;2:114-20 (In Russ.).
2. Борисович ВТ, Маджидов БС. Оценка современного этапа развития мировой и Российской золотодобычи. *Экономика и предпринимательство*. 2016;4-2:192-6. Borisovich VT, Majidov BS. Assessment of the current stage of development of global and Russian gold mining. *Economics and entrepreneurship*. 2016;4-2:192-6. (In Russ.).
3. Березин ВП, Лешков ВГ, Мацуев АП и др. Справочник по разработке россыпей. Москва, 1973:592. Berezin VP, Leshkov VG, Matsuev AP, et al. *Handbook of placer mining*. Moscow, 1973:59 (In Russ.).
4. Шешко ЕФ. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. Москва, 1957:496. Sheshko EF. Open mining of mineral deposits. Moscow, 1957:496. (In Russ.).

5. Кисляков ВЕ, Нафиков РЗ. Технология дражной разработки россыпных месторождений Крайнего Севера. *Известия ТулГУ. Наука о Земле*. 2021;1:160-6.
- Kislyakov VE, Nafikov RZ. Technology of mining of placer deposits of the Far North. *Izvestiya TulaSU. Earth science*. 2021;1:160-6. (In Russ.).
6. Нафиков РЗ, Кисляков ВЕ. Способ дражной разработки месторождений в условиях Крайнего Севера. *Известия ТулГУ. Наука о Земле*. 2020;3:171-9.
- Nafikov RZ, Kislyakov VE. A method of mining deposits in the Far North. *Bulletin of Tula State University. Earth science*. 2020;3:171-9. (In Russ.).
7. Кукис ВС, Романов ВА. Совершенствование поршневых двигателей внутреннего сгорания. Saarbuchten: Palmarium Academic publishing. 2012. 395 p.
- Kukis VS, Romanov VA. Improvement of piston internal combustion engines. Saarbuchten: Palmarium Academic publishing. 2012. 395 p. (In Russ.).
8. Смирнов АМ, Шабалин ДВ, Перов СА и др. Повышение эффективности работы дизелей в особых условиях эксплуатации. *Омский научный вестник: Машиностроение и машиноведение*. 2014;3:136-8.
- Smirnov AM, Shabalin DV, Perov SA, et al. Improving the efficiency of diesel engines in special operating conditions. *Omsk Scientific Bulletin: Mechanical Engineering and Machine Science*. 2014;3:136-8. (In Russ.).
9. Гуляев ВП, Александров ВП, Климов СМ. Надежность дизельных двигателей внутреннего сгорания в условиях Крайнего Севера. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(11):113-7.
- Gulyaev VP, Alexandrov VP, Klimov SM. Reliability of diesel internal combustion engines in the Far North. *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*. 2016;30(11):113-7. (In Russ.).
10. Шорохов СМ. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. Москва, 1973.
- Shorokhov SM. Technology and complex mechanization of the development of placer deposits. Moscow, 1973. (In Russ.).
11. Ерёмченко ЕВ, Синьковский ВН. Концепция формирования техногенного ресурса карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006;2:228-32.
- Eremenko EV, Sinchkovsky VN. The concept of the formation of a technogenic quarry resource. *Mining information and Analytical Bulletin*. 2006;2:228-32. (In Russ.).
12. Еременко ЕВ. Концепция разработки обширных мощных месторождений слабонаклонного залегания с учетом закономерностей формирования избыточного выработанного пространства. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;8:149-54.
- Eremenko EV. The concept of the development of extensive powerful deposits of slightly inclined occurrence, taking into account the patterns of formation of excess developed space. *Mining information and analytical bulletin*. 2012;8:149-54. (In Russ.).
13. Еременко ЕВ, Косолапов А И. К вопросу управления техногенным ресурсом карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;45-1:249-59.
- Eremenko EV, Kosolapov AI. On the issue of managing the technogenic resource of a quarry. *Mining information and analytical bulletin*. 2015;45-1:249-59. (In Russ.).
14. Бедарев ДИ, Долгих МВ. Повышение производительности на прииске «Удережский». *Danish Scientific Journal*. 2019;11-3.
- Bedarev DI, Dolgikh MV. Improving productivity at the Udereysky mine. *Danish Scientific Journal*. No21, 2019:11-3. (In Russ.).
15. Моссаковский ЯВ. Полезные ископаемые. Экономика ГРП. Москва, 2004.
- Mossakovsky YaV. Minerals, Exploration Economics. Publishing House of the Moscow State Mining University, Moscow, 2004. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Денис Игоревич Бедарев –

аспирант кафедры открытых горных работы, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация

Виктор Евгеньевич Кисляков –

доктор технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Denis I. Bedarev –

postgraduate student of the Department of «Open-pit Mining» at Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation

Victor E. Kislyakov –

Siberian Federal University, Doctor of Technical Sciences, Professor at Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation

Критерии авторства / Contribution:

Кисляков В. Е. – научное руководство, концепция исследования; **Бедарев Д. И.** – написание исходного текста, итоговые выводы, проведение анализа данных / **Kislyakov V. E.** – scientific guidance, research concept; **Bedarev D. I.** – writing the source text, final conclusions, data analysis.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.11.2024.

Поступила после рецензирования: 22.01.2025.

Принята к публикации: 31.01.2025.

Article info

Received: 22.11.2024.

Revised: 22.01.2025.

Accepted: 31.01.2025.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

В. П. Спиридонов[✉], А. А. Копылов, О. В. Двоенко, А. Ю. Дмитриев

*Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий, 129366, г. Москва, Российская Федерация*

✉ svp-vak@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ и представлены статистические данные по частоте возникновения опасных техногенных явлений в нефтегазовой отрасли, пожарам и взрывам в зависимости от объекта возникновения, причинам возникновения пожаров и взрывов на объектах складов нефти и нефтепродуктов. Впервые получены результаты испытаний дистанционной работы лазерным лучом на расстоянии 50 и 100 м до тестового объекта. Установлено, что МЧС России сталкивается с проблемой обеспечения пожарной безопасности и ликвидации ЧС на объектах нефтегазовой промышленности. Показано, что дистанционное применение лазерных технологий при проведении аварийно-спасательных работ обладает возможностью дополнительного преимущества по обеспечению безопасности для пожарных и спасателей. Определено, что внедрение лазерных систем в аварийно-спасательные работы в зоне чрезвычайных ситуаций является актуальным направлением и требует дальнейших исследований. Выявлено, что для обеспечения безопасности эксплуатации нефтегазового оборудования и трубопроводов в нефтегазодобывающей отрасли необходимо внедрение новых технологий и применение лазерных установок. Авторы статьи предлагают применение лазерного комплекса «ZORKA-1300» на объектах топливно-энергетического комплекса.

Ключевые слова: нефтегазовая промышленность, чрезвычайные ситуации, пожар, взрыв, лазерные системы

Для цитирования: Спиридонов В.П., Копылов А.А., Двоенко О.В. и др. Применение лазеров при чрезвычайных ситуациях в топливно-энергетическом комплексе. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 91-98. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-91-98>.

Благодарности: Исследования проводились с использованием ресурсов Ростехнадзора и МЧС России.

THE USE OF LASERS IN EMERGENCY SITUATIONS IN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

V. P. Spiridonov[✉], A. A. Kopylov, O. V. Dvoenko, A. Y. Dmitriev

*Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and
Elimination of Consequences of Natural Disasters, 129366, Moscow, Russian Federation*

✉ svp-vak@mail.ru

Annotation. The article analyzes and presents statistical data on: the frequency of occurrence of dangerous man-made phenomena in the oil and gas industry; fires and explosions depending on the object of occurrence; causes of fires and explosions at oil and petroleum products warehouses. For the first time, the results of tests of remote operation with a laser beam at a distance of 50 and 100 meters to the test object have been obtained. It has been established that the Ministry of Emergency Situations of Russia is facing the problem of ensuring fire safety and emergency response at oil and gas industry facilities, and the remote use of laser technologies during emergency rescue operations has the possibility of additional safety advantages for firefighters and rescuers. It is determined that the introduction of laser systems in emergency rescue operations in the emergency zone is an urgent area and requires further research. It has been revealed that in order to ensure the safety of operation of oil and gas equipment and pipelines in the oil and gas industry, it is necessary to introduce new technologies and use laser installations. The authors of the article propose the use of the ZORKA 1300 laser complex at the facilities of the fuel and energy complex.

Keywords: oil and gas industry, emergencies, fire, explosion, laser systems

For citation: Spiridonov VP, Kopylov AA, Dvoenko OV, et al. The use of lasers in emergency situations in the fuel and energy complex. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):91-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-91-98>.

Acknowledgments: The research was carried out using the resources of Rostekhnadzor and the Ministry of Emergency Situations of Russia.

Введение

Топливные ресурсы обеспечивают энергией не только всю промышленность любой страны мира, но и практически все сферы человеческой жизнедеятельности. Важнейшей частью топливно-энергетического комплекса России является нефтяной и газовый сектор. Нефтегазовая отрасль – это комплексы промышленных предприятий по добыче, транспортировке, переработке и распределению конечных продуктов переработки нефти и газа. Это одна из мощнейших отраслей Российской Федерации, в значительной степени формирующая бюджет и платежный баланс страны, обеспечивающая валютные поступления и поддержание курса национальной валюты.

Российская Федерация располагает огромным углеводородным потенциалом. Нефтегазовая отрасль России входит в число ведущих в мире, полностью обеспечивает внутренние текущие и перспективные потребности в нефти, природном газе, продуктах их переработки. Значительное количество углеводородных ресурсов и их продуктов поставляется на экспорт, обеспечивая пополнение валютного запаса. Россия занимает второе место в мире по объему запасов жидких углеводородов с долей порядка 10 %. Запасы нефти разведаны и освоены в недрах 35 субъектов РФ.

Промышленные объекты нефтегазодобывающей сферы занимают масштабные участки земли, характеризуются высокой взрывопожарной опасностью, в случае возникновения техногенной катастрофы способны нанести значительный ущерб биосфере и человеку. Обеспечение пожарной безопасности на объектах нефтяной промышленности и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз различного характера является одной из важнейшей задач МЧС России.

Цель исследований: анализ чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса. Определение возможности применения лазерных установок при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Методика исследований

Определение и оценка функциональных возможностей макета лазерной установки с учетом заявленных тактико-технических характеристик, а также определение области его применения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Результаты исследований

На основании промышленных испытаний подготовлены предложения для конструктивной доработки макета лазерной установки «ZORKA-1300» и его оценки при проведении аварийных работ по дистанционному разбору различных материалов и конструкций.

Анализ пожаров и чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазовой добывающей промышленности

В ходе статистического анализа было установлено, что с течением времени ситуация с пожарами в стране не улуч-

шается. По статистическим данным источника [1], с 2013 по 2017 год произошло 100 опасных техногенных явлений на нефтеперерабатывающем комплексе РФ в виде взрывов (36), пожаров (31), выбросов опасных веществ в атмосферу (33). С 2018 по 2021 год количество пожаров увеличилось с 765 и возросло до 894.

Например, с 2019 года количество возникших возгораний выросло больше чем в два раза, нежели чем было в 2018-м, потому что с 2019 года изменился нормативный подход учета пожаров. Исходя из этого можно сделать вывод, что постепенное развитие технологических процессов напрямую приводит человечество к потенциальной опасности.

Анализ характера и причин аварий в нефтегазовой промышленности показывает, что в последнее десятилетие большинство из них (около 95 %) связано со взрывами: 52 % – в аппаратуре, 20 % – в производственных зданиях и 28 % – на открытых технологических площадках (рис. 1).

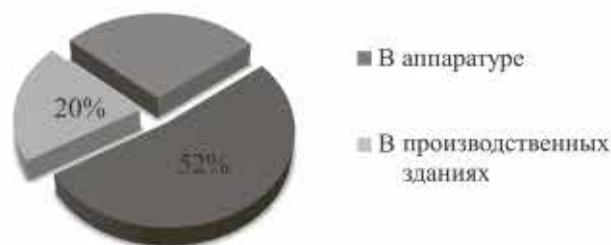


Рис. 1. Статистика взрывов в нефтегазовой промышленности в зависимости от объектов /

Fig. 1. Explosion statistics in the oil and gas industry, depending on the facilities

По данным МЧС за 2022–2023 годы, на объектах нефтегазовой отрасли из общего количества взрывов в 42,5 % случаев происходят взрывы сжиженных углеводородных газов. При залповых выбросах горючих 7 % не сопровождаются воспламенением, 35 % завершаются взрывами, в 23 % случаев взрывы сочетаются с пожарами, 34 % сопровождаются только пожарами. На объектах нефтепереработки произошло 23 пожара, на которых погиб 1 человек, еще 3 травмированы. В 2022 году на указанных объектах произошло 84 пожара, погибло 4 человека, 23 получили травмы, а в результате взрывов на объектах ТЭК погибло 49 человек. В 2022 году – 84 пожара, на которых погибло 4 человека, 23 получили травмы [1–3].

В связи с этим МЧС России сталкивается с проблемой обеспечения пожарной безопасности и ликвидации ЧС на объектах нефтегазовой промышленности [4, 5].

Пожары на объектах нефтепереработки характеризуются быстрой динамикой развития в начальной стадии, обусловленной наличием большого количества легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Успешное тушение пожаров на начальной стадии объектов нефтепереработки зависит в значительной степени от своевременного обнаружения возгорания, оповещения о нем пожарной охраны и технологии тушения и ликвидации в каждом конкретном случае [6].

Анализируя происшествия на объектах нефтегазовой промышленности в России за последние 10 лет, можно прийти к выводу, что наибольшее количество пожаров, по статистическим данным, приходится именно на объекты хранения нефтепродуктов – наземные резервуары типа РВС, порядка 93 %. Одновременно с количеством пожаров можно сделать утверждение, что пожары на наземных резервуарах типа РВС являются самыми крупными, наиболее сложными для ликвидации и несут колоссальный экономический ущерб предприятиям и экономике России, а иногда травмирование и гибель людей.

В реальности большинство пожаров на резервуарах начинается со взрыва паровоздушного облака с последующим горением нефтепродукта. При взрыве установки автоматического пожаротушения резервуаров низкоэффективны в условиях реального пожара, так как часто разрушаются ударной волной, и дальнейшее их использование не представляется возможным.

Необходимо рассмотреть вопрос о целесообразности и эффективности применения лазерных установок [7].

Ликвидация аварий на объектах нефтегазовой отрасли

Особую сложность при ликвидации техногенной чрезвычайной ситуации представляют собой пожары на газонефтяных фонтанах. Пламя на фонтанирующих скважинах может достигать катастрофических масштабов, распространяться на соседние буровые установки и сооружения. Это происходит в результате мощного теплового излучения от вертикального факела пламени высотой более 100 м и горящей вокруг него нефти, разлившейся на площади нескольких тысяч квадратных метров. Воспламенение фонтана сопровождается взрывообразным сгоранием газозвушной смеси в объеме загазованной зоны, а при растекании нефти и конденсата горит вся поверхность этой зоны. В результате пожар может распространиться на другие объекты, расположенные в указанных зонах. Через 15–30 минут после воспламенения фонтана металлоконструкции в зоне воздействия пламени теряют несущую способность, деформируются и загромождают устье скважины искореженными конструкциями весом более 100 т (рис. 2).



Рис. 2. Авария на газовом месторождении с открытым фонтанированием /
Fig. 2. An accident at an open-gushing gas field

Характерным для нефтяных и газовых фонтанов является то, что температура быстро, в течение нескольких минут, стабилизируется и достигает порядка 1200–1500 °С.

Величина тепловых потоков зависит от температуры пламени, дебита скважины, вида струи фонтана, состава фонтанирующего вещества, расстояния до факела пламени, расположения пламени над уровнем земли, направления и скорости ветра.

Личный состав без специального теплозащитного снаряжения может работать в зоне, плотность теплового потока которой не превышает 6 кал/(см²·мин). В данных условиях личный состав может работать в боевой одежде и касках с защитными щитками.

Для оперативной ликвидации пожара необходимо срезать фланец трубы и заглушить газонефтяной фонтан. Исходя из сложившейся обстановки, все, что могут сделать спасательные подразделения, – дожидаться полного выгорания горючего вещества и только после этого приступить к аварийно-восстановительным работам. Однако применение лазерной установки существенно облегчило бы и ускорило процесс тушения.

Анализ сценариев возникновения аварий в резервуарных парках показал, что наиболее опасным из них является полное разрушение вертикального стального резервуара (РВС). В результате этого происходит его полная разгерметизация, взрыв паровоздушной смеси внутри, пролив горящих нефтепродуктов, тепловое воздействие горящего пролива на рядом стоящие РВС. Данный сценарий возникает вследствие разрушения стенок РВС по причине их интенсивного прогрева, старения и воздействия коррозии на конструктивные элементы (рис. 3).



Рис. 3. Авария в резервуарном парке по хранению нефти
с открытым пламенем /
Fig. 3. Accident in an open flame oil storage tank farm

По статистике, тушение пожаров в резервуарном парке во многих случаях занимает от двух часов до пяти суток. Пожары в резервуарах обычно предваряют кипение жидкости и повышение избыточного давления в объеме резервуара, после которого происходит взрыв паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара. Взрыв сопровождается срывом крыши и нарушением целостности ее отдельных элементов. Стены вертикальных стальных резервуаров состоят из металлических листов, как правило, размером 1,5 × 4 м. Толщина резервуара колеблется в пределах от 6 мм (РВС-1000) до 25 мм (РВС-120000) с учетом вместимости резервуара. Толщина верхнего пояса составляет от 4 до 15 мм.

Вследствие взрыва искореженные металлические конструкции лежат вокруг резервуара и преграждают доступ специальной технике, которая подает огнетушащие веще-

ства. С развитием пожара горящие емкости мощного теплового излучения (порядка 1000 °С) и пламя высотой более 40 м не позволяют пожарным приблизиться к резервуарам. Опасность обрушения металлических конструкций резервуара и отсутствие средств защиты, способных выдержать указанную температуру в течение определенного времени, усложняют работу пожарных – подачу средств пожаротушения для охлаждения несущих конструкций.

Для ликвидации чрезвычайных ситуаций пожарные подразделения задействуют достаточно сил и средств, чтобы провести пенимую атаку. Пожарным необходимо получить запас пенообразователя для тушения резервуара. Для этого требуется снизить давление, проделав отверстия. В настоящее время для проведения такой процедуры применяют механические средства (гидравлические инструменты). При этом подвергается риску здоровье и жизнь личного состава.

Исходя из вышесказанного, целесообразно применять лазерную установку для сбрасывания давления и оттока жидкости в обвалование или в другое безопасное место путем срезания отверстия [6, 7].

Дистанционное разрушение обледенений в Арктической зоне, ликвидация разливов нефтепродуктов в береговой и прибрежной зоне

В задачи Российской Федерации входят разведка и освоение арктических подводных месторождений углеводородов, находящихся под сплошным ледяным покровом. Чтобы освоить подледные арктические месторождения, необходимо ликвидировать аварийные разливы нефти (далее – ЛАРН). Данные месторождения, как правило, удалены от наземной инфраструктуры и мест базирования сил и средств ликвидации разливов нефти. Доступ к районам добычи затруднен из-за ледяного покрова, и оперативное развертывание традиционных сил и средств ЛАРН затруднено.

Большие скопления льда на территории Арктики ставят под угрозу стабильность и целостность производственных объектов. Обледенение может привести к скользким поверхностям на поручнях, лестницах, палубах и т. п., угрожать безопасности персонала. Обледенения также могут покрывать спасательные лодки и палубное оборудование для тушения пожаров – важные элементы оборудования. Обычные механические способы устранения обледенения требуют доступа к ледовому оборудованию, которое может быть небезопасным в эксплуатации.

Лазерные технологии могли бы отлично справиться с данными задачами, дистанционно разрушив крупные обледенения (рис. 4).

Климатические условия Арктики характеризуются рядом особенностей, которые необходимо учитывать при выработке подходов к ликвидации разливов нефти. Главные среди них: наличие постоянного или присутствующего продолжительное время обширного ледяного покрова; низкие, в том числе отрицательные, температуры воздуха; низкие температуры воды, продолжительные периоды полярных ночей, удаленность от береговой инфраструктуры. Эти факторы препятствуют развертыванию и эксплуатации надводных технических средств в арктических условиях. Вместе с тем низкие температуры и ледяной покров затрудняют распространение нефти. В условиях низких температур разлитая в морской воде нефть имеет увеличенную вязкость, вследствие чего она с трудом растекается подо льдом (рис. 5).



Рис. 4. Обледенения в Арктической зоне /
Fig. 4. Icing in the Arctic zone

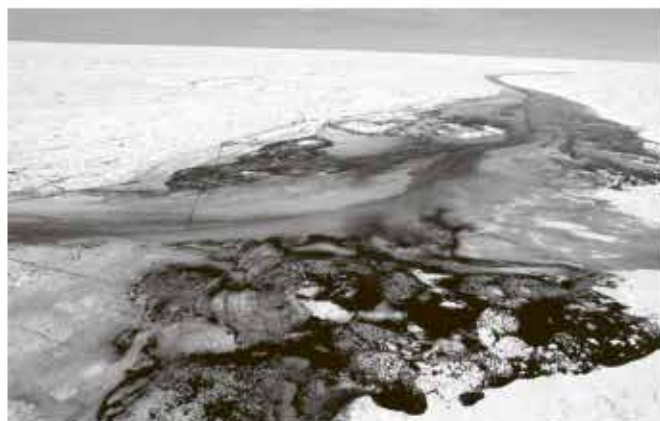


Рис. 5. Разлив нефти в прибрежной зоне /
Fig. 5. Oil spill in the coastal zone

Изложенные аспекты обуславливают применение лазерных установок для ЛАРН под толщей льда. По сравнению с прочими методами удаления разливов нефти (механический, микробиологический, термический) лазерный признан наиболее эффективным для применения в условиях Арктики. Применение лазеров гарантирует дистанционный (до 300 м) поджог и дожигание нефтепродуктов в ледовых арктических условиях; позволяет менее чем за двое суток с эффективностью до 98 % ликвидировать разлив [7].

Разделка, фрагментация крупногабаритных металлических и железобетонных конструкций при землетрясениях, обрушении горных пород и жилых помещений

Колоссальный объем ручного труда и риск, которому подвергаются спасатели, – следствие использования неэффективных средств механизации для ликвидации завалов. У спасателей для борьбы со стихией и спасения людей есть только респиратор, лопата, лом и кайло, в лучшем случае – гидравлические ножницы и резак с ручным приводом. Разборка подобных завалов в шахтах проводится спасателями вручную и представляет собой длительный, трудоемкий и травмоопасный процесс. Между тем главное условие обнаружения под завалом максимального количества тяжело раненных – это их поиск, длящийся не более 24 часов.

Особую сложность вызывает у спасателей ликвидация завалов в горной местности, жилых зданий и сооружений. Завалы представляют собой массу из искореженной металли-

ческой крепи, бетонных конструкций, труб, рельсов, кабелей и других материалов (рис. 6, 7).



Рис. 6. Обрушение жилых помещений /
Fig. 6. Collapse of residential premises



Рис. 7. Обрушение горных пород /
Fig. 7. Rock collapse

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что при ведении подобных аварийно-спасательных работ лазерные установки нашли бы свое применение. Луч лазера может разрушать и разрезать бетонные или металлические части больших размеров. Установки способны обеспечить оперативность разборки конструкции и заменить неэффективную технику [8–11].

Этапы проведения экспериментального испытания и анализ результатов возможности применения макета лазерного комплекса «ZORKA 1300».

На сегодняшний день лазеры – стремительно развивающаяся область новых технологических решений, которые с каждым годом все больше внедряются в различные сферы промышленной и производственной деятельности. Однако для решения задач по ликвидации чрезвычайных ситуаций это направление до сих пор не рассматривалось, хотя оно является весьма перспективным [12].

Материально-техническое обеспечение экспериментального исследования

Для проведения экспериментальных испытаний требуется следующее материально-техническое обеспечение: макет молекулярного лазерного комплекса «ZORKA-1300» (основные технические характеристики приведены в табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Основные технические характеристики образца молекулярного лазерного комплекса «ZORKA-1300» /
Thema technical characteristics of the sample of the molecular laser complex ZORKA 1300

Параметр / Parameter	Величина / Value
Средняя мощность излучения, Вт	1 300
Длина волны, мкм	10,6
Модовая структура лазерного излучения	TEM00
Диаметр выходного пучка по уровню интенсивности e-2, мм	20
Оптическое качество пучка	M2 <1,1
Тип лазера	Газопотоковый, с возбуждением электрическим зарядом
Размеры лазера (Д x Ш x В), мм	1 200 x 400 x 600
Вес лазерного источника, кг	60
Электропитание, кВт	18
Напряжение питания, В	220, 380
Частота тока, Гц	50/60
Время непрерывной работы, ч	12
Рабочий температурный диапазон	-40/+40
Срок службы, лет	10

Этапы проведения экспериментального испытания и анализ результатов возможности применения макета лазерного комплекса «ZORKA-1300»

Оценка параметров воздействия сфокусированного лазерного излучения на каждый тестовый объект в рамках испытаний проводилась три раза. Запись всех полученных результатов, а также среднее арифметическое по заданному количеству измерений занесены в протокол испытания согласно соответствующему тестовому объекту.

Время прожига каждого тестового объекта определялось с использованием секундомера. Начало отсчета временного промежутка осуществлялось вручную по факту включения макета лазерного комплекса на поражающее воздействие (включение светового сигнала работы лазерного комплекса на излучение), конец отсчета временного промежутка осуществляется вручную по факту физического уничтожения воздушного шара, сопровождающегося звуковым хлопком. Исследования проводились на расстоянии 50, 100 метров от объектива лазерного комплекса до тестового объекта [13–15].

Исследования на стальном листе толщиной 3 мм

Этапы сквозного прожига лазерным лучом стального листа толщиной 3 мм представлены на рисунке 8.



а (а)



б (б)

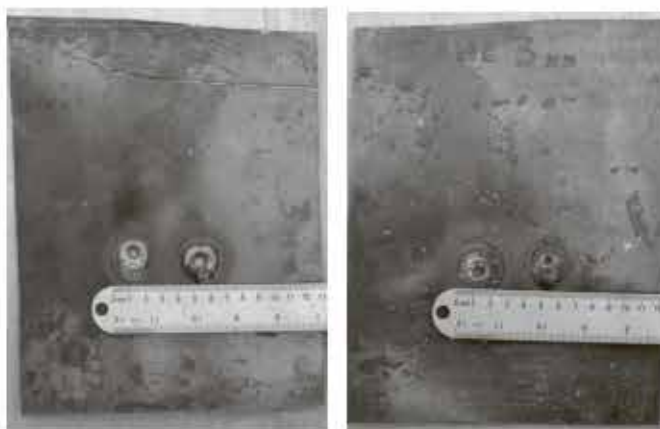


в (с)

Рис. 8. Этапы прожига стального листа толщиной 3 мм: а – фокусировка и прицеливание лазерного луча; б – начало воздействия лазерного луча с надутым шаром; в – окончание воздействия лазерного луча с сквозным прожигом и лопнувшим шаром /

Fig. 8. The stages of burning a 3 mm thick steel sheet: a – focusing and aiming a laser beam; b – the beginning of the effect of a laser beam with an inflated ball; c – the end of the effect of a laser beam with a through-burning and a burst ball

На рисунке 9 показан общий вид полученных отверстий на стальном листе толщиной 3 мм в результате воздействия лазерного луча.



а (а)

б (б)

Рис. 9. Полученные отверстия на стальном листе толщиной 3 мм от воздействия лазерного луча: а – входное отверстие; б – выходное отверстие /

Fig. 9. The holes obtained on a steel sheet with a thickness of 3 mm from the action of a laser beam: a – the inlet; b – the outlet plumb

Полученные результаты в ходе проведения исследования представлены на рисунке 10.



Рис. 10. Результаты воздействия лазерного луча на стальной лист толщиной 3 мм /

Fig. 10. The results of the laser beam exposure to a 3 mm thick steel sheet

Данные протокола испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Параметры воздействия лазерного луча на стальной лист толщиной 3 мм /

Parameters of the effect of the laser beam on a 3 mm thick steel sheet

№ измерения / Measurement number	Расстояние от источника излучения до исследуемого объекта, м / The distance from the radiation source to the object under study, m	Режим работы ЛК (мощность), Вт / Operating mode LC (power), W	Время сквозного прожига, с / Through-burning time, with	Диаметр отверстия на входе d, мм / The diameter of the inlet hole d, mm	Диаметр отверстия на выходе d, мм / The diameter of the outlet hole d, mm
1	50	1 300	41	15	9
2	50	1 300	54	14	8
3	50	1 300	49	15	8
Среднее арифметическое			48	15	8
1	100	1 300	78	23	7
2	100	1 300	73	25	5
3	100	1 300	76	22	9
Среднее арифметическое			75	23	7

Заключение

1. Разнообразие лазеров открыло новую, невероятную перспективную область технологических решений. Лазерные комплексы играют большую роль в происходящих изменениях технологического уклада, которые связаны с повышением гибкости, мобильности и унификации производства, энерго- и ресурсоэффективности, с выходом на новый уровень при ликвидации последствий техногенных аварий и катастроф. Ни одно из стратегических важных технологических направлений в мире не обходится без использования лазерных установок.

2. Было установлено, что лазерные технологии при проведении аварийно-спасательных работ обладают возможностью применения их дистанционно, что дает сокращение в скорости ликвидации ЧС и дополнительное преимущество по обеспечению безопасности для пожарных и спасателей.

3. Впервые получены результаты испытаний возможностей дистанционной работы лазерным лучом на расстоянии

50 и 100 метров от объектива лазерного комплекса до тестового объекта.

Были определены:

- степень влияния расстояния до тестового объекта на время, необходимое для прожигания тестовых объектов;
- параметры получаемых отверстий на тестовых объектах в зависимости от расстояния объектива лазерного комплекса;
- временные параметры прожигания лазерного луча в зависимости от расстояния объектива лазерного комплекса до тестового объекта и плотности мощности луча на его поверхности;
- физические параметры исследуемых предметов, поддающиеся поражению лазерным лучом.

4. На основании проведенных испытаний подготовлены предложения для конструктивной доработки макета лазерного комплекса для его оценки при ведении работ по дистанционному резу различных конструкций.

Выводы

1. Анализ характеристик объектов топливно-энергетического комплекса, собранных статистических данных о пожарах и других различных чрезвычайных ситуаций, а также анализ используемой техники и комплексов для ведения аварийно-спасательных работ показал, что аварийно-спасательные работы до сих пор проводят с использованием традиционной техники, неизбежно подвергаясь большому риску, осложняющемуся наличием факторов, угрожающих жизни и здоровью пожарных и спасателей.

2. Исходя из технических характеристик лазерных установок было установлено, что лазерные технологии при проведении аварийно-спасательных работ обладают возможностью применения их дистанционно, что дает дополнительное преимущество по обеспечению безопасности личного состава при ликвидации ЧС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Двоенко ОВ, Халиков РВ, Сергеевкова НА и др. Анализ пожаров и аварий на территории объектов нефтегазового комплекса. *Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны в год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России*. В 5 частях. Москва, 2023: 205-210.
- Dvoenko OV, Khalikov RV, Sergeenkovna et al. Analysis of fires and accidents on the territory of oil and gas complex facilities. *Civil defense on guard of peace and security: Materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the World Civil Defense Day in the Year of the 90th anniversary of the Academy GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. In 5 parts. Moscow, 2023: 205-210. (In Russ.).
2. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683. URL: <https://base.garant.ru/71296054/>.
- Decree of the President of the Russian Federation No. 683 dated December 31, 2015 "On the National Security Strategy of the Russian Federation". Available from: <https://base.garant.ru/71296054/> (In Russ.).
3. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году: государственный доклад. Москва, 2021: 264.
- The State report "On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2020". Moscow, 2021: 264. (In Russ.).
4. Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566030578>.
- The Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 01.10.2020 N 737 "On approval of the guidelines for the organization of material and technical support of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and elimination of consequences of natural disasters". Available from: <https://docs.cntd.ru/document/566030578> (In Russ.).
5. Розумов ВВ, Спиридонов ВП и др. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации. Под редакцией С.К. Шойгу. Москва, 2010: 696.
- Rozumov VV, Spiridonov VP. and others. Atlas of Natural and Man-made hazards and Emergency risks of the Russian Federation. Edited by S.K. Shoigu. Moscow, 2010: 696. (In Russ.).
6. Мерициди ИА и др. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: справочник. Санкт-Петербург, 2008: 432-446.
- Merici IA et al. Equipment and technologies for localization and liquidation of emergency oil and petroleum product spills: Reference St. Petersburg, 2008: 432-46. (In Russ.).
7. Аскарьян ГА, Карлова ЕК, Петров РП и др. Действие мощного лазерного луча на поверхность воды с пленкой жидкости: селективное испарение, выжигание и выбрызгивание слоя, покрывающего поверхность воды. *Письма в ЖЭТФ*. 1973;18(11).
- Askaryan GA, Karlova EK, Petrov RP, et al. The effect of a powerful laser beam on the surface of water with a liquid film: selective evaporation, burning and spraying of the layer covering the surface of the water. *Letters to the JETP*. 1973;18(11). (In Russ.).
8. Сашурин АД, Мельник ВВ, Усанов СВ и др. Проблемы безопасности при ликвидации горнодобывающих предприятий. *Проблемы недропользования*. 2014;3(3):60-5.
- Sashurin AD, Melnik VV, Usanov SV et al. Safety problems in the liquidation of mining enterprises. *Problems of subsoil use*. 2014;3(3):60-5. (In Russ.).
9. Гудков ВМ, Спиридонов ВП. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. *Маркшейдерский вестник*. 2004;2:68-71.
- Gudkov VM, Spiridonov VP. Criteria of stability of mining facilities and buildings. *The Surveyor's bulletin*. 2004;2:68-71. (In Russ.).
10. Ройтман ВМ, Серков ББ, Шевкуненко ЮГ и др. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник под редакцией В. М. Ройтмана. Москва, 2013:364.
- Roitman VM, Serkov BB, Shevkunenko YuG et al. Buildings, structures and their fire resistance. Textbook.; edited by V.M. Roitman. Moscow, 2013:364. (In Russ.).
11. Баратов АН, Корольченко АЯ и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочное издание: в 2 книгах. Москва, 1990:496.
- Baratov AN, Korolchenko Aya et al. Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing agents: Reference edition: in 2 books. Moscow, 1990:496. (In Russ.).

12. Физика лазеров, лазерные технологии и методы математического моделирования лазерного воздействия на вещество. Сост. Е.В. Харанжевский, М.Д. Кривилев. Москва, 2011:187.

Laser physics, laser technologies and methods of mathematical modeling of laser effects on matter. Comp. E. V. Kharanzhevsky, M.D. Krivilev. Moscow, 2011:187. (In Russ.).

13. Физика лазеров: учебное пособие. Сост. В.С. Айрапетян, О.К. Ушаков. Новосибирск, 2012:134.

Physics of lasers: a textbook. Comp. V.S. Ayratpetyan, O.K. Ushakov. Novosibirsk, 2012: 134. (In Russ.).

14. Бореишо ВА, Клочков ДВ, Копылов МА и др. Военные применения лазеров: учебное пособие. Санкт-Петербург, 2015: 103.

Boreysho VA, Klochkov DV, Kopylov MA et al. Military applications of lasers: a textbook. St. Petersburg, 2015:103. (In Russ.).

15. Копылов АА, Спиридонов ВП, Лобода КА. Лазерные технологии в зоне чрезвычайных ситуаций. *Технический оппонент*. 2024;1:60-4.

Kopylov AA, Spiridonov VP, Loboda KA. Laser technologies in the emergency zone. *Technical Opponent*. 2024;1:60-4. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Валерий Петрович Спиридонов – кандидат технических наук, профессор. Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 129366, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: svp-vak@mail.ru



Андрей Александрович Копылов – кандидат социологических наук, доцент. Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 129366, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: kopylovff@mail.ru



Олег Викторович Двоенко – кандидат технических наук, доцент. Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 129366, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: dvoenko_oleg@mail.ru



Александр Юрьевич Дмитриев – инспектор отдела научного информирования Центра организации научных исследований и научной информации. Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 129366, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: sanhos01@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Valery P. Spiridonov – Candidate of Technical Sciences, Professor, Academy of the State Fire Service Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 129366, Moscow, Russian Federation, e-mail: svp-vak@mail.ru

Andrey A. Kopylov – Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, 129366, Moscow, Russian Federation, e-mail: kopylovff@mail.ru

Oleg V. Dvoenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, 129366, Moscow, Russian Federation, e-mail: dvoenko_oleg@mail.ru

Alexander Yu. Dmitriev – Inspector of the Scientific Information Department of the Center for the Organization of Scientific Research and Scientific Information, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, 129366, Moscow, Russian Federation, e-mail: sanhos01@mail.ru

Критерии авторства / Contribution: Личный вклад каждого автора интегрирован в общую работу / The personal contribution of each author is integrated into the overall work.

Конфликт интересов / Conflict of interest: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.01.2025. Поступила после рецензирования: 01.02.2025. Принята к публикации: 17.02.2025.

Article info

Received: 17.01.2025. Revised: 01.02.2025. Accepted: 17.02.2025.



XX-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР

Ufi
Approved
Event



Mining Week

KAZAKHSTAN'2025

24-26.06.2025

[КАРАГАНДА] [КАЗАХСТАН]



ТОО «TNT EXPO»

+7 (727) 344 00 63

mintek@tntexpo.kz

mining.week.kazakhstan



MININGWEEK.KZ

MiningWorld Russia

29-я Международная выставка
машин и оборудования
для добычи, обогащения
и транспортировки
полезных ископаемых

Забронируйте стенд
miningworld.ru

23–25 апреля 2025
Москва, Крокус Экспо



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

