

Код МРНТИ 52.13.15

А.М. Суимбаева¹, *А.Қ. Матаев¹, А.Ж. Ауелбекова¹, Ж. Шлатаев²¹Карагандинский технический университет имени Абылхаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «Корпорация Казахмыс» (г. Караганда, Казахстан)

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЮ РУД ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАЛОМОЩНЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Аннотация. В условиях активного развития подземной добычи, особенно при отработке маломощных рудных тел, важной задачей является снижение потерь и разубоживания руды. В статье на основе опыта Канады, Австралии, Китая и России рассмотрены подходы к повышению извлечения и качества руды. Проанализированы геомеханические условия, системы разработки, технические средства и цифровые решения. Описаны инновационные методы бурения, цифровое управление производством и системы сухой закладки. Выделены преимущества подэтажной скважинной отбойки для селективности и безопасности горных работ. Результаты могут быть адаптированы для отечественной практики.

Ключевые слова: потери руды, разубоживание руды, маломощные рудные тела, численное моделирование, системы разработки, подэтажная скважинная отбойка, сухая закладка.

Қуаты аз кен шоғырларын өндіру кезінде жоғалымдар мен кеннің құнарсыздануын азайту бойынша халықаралық тәжірибені талдау

Андатпа. Жерасты пайдалы қазбаларды өндірудің қарқынды дамуы жағдайында, әсіресе қуаттылығы аз кен денелерін игеруде, кеннің шығынын және келділуін азайту өзекті мәселе болып табылады. Мақалада Канада, Аустралия, Қытай және Ресей тәжірибелері негізінде кен шығынын арттыру және сапасын жақсарту тәсілдері талданды. Геомеханикалық жағдайлар, қазу жүйелері, техникалық құралдар мен цифрлық шешімдер қарастырылды. Инновациялық бұрғылау әдістері, өндірісті басқарудың цифрлық технологиялары және құрғақ толтыру жүйелері сипатталды. Подэтаждық ұңғымалық қопару жүйесінің селективтілігі мен тау-кен жұмыстары қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі артықшылықтары айқындалды. Зерттеу нәтижелері отандық тәжірибеге бейімдеуге ұсынылады.

Түйінді сөздер: кен жоғалымдары, кеннің құнарсыздануы, қуаты аз кен денелері, сандық модельдеу, кен өндіру жүйелері, қабатара-лық ұңғымалық қопару, құрғақ толтырмалар.

Analysis of international experience in reducing ore loss and dilution in the mining of narrow ore bodies

Abstract. In the context of intensive underground mining development, particularly in the extraction of thin ore bodies, reducing ore losses and dilution remains a critical challenge. This article, based on the experience of Canada, Australia, China, and Russia, examines methods to enhance ore recovery and quality. It analyzes geo-mechanical conditions, mining systems, technical equipment, and digital solutions. Innovative drilling techniques, digital production management tools, and dry backfill systems are described. The advantages of sublevel open stoping with long-hole drilling for selective mining and operational safety are highlighted. The findings can be adapted to improve domestic practices in thin ore body mining.

Key words: ore losses, ore dilution, narrow ore bodies, numerical modeling, mining systems, sublevel longhole stoping, dry backfill.

Введение

Современное развитие горнодобывающей промышленности характеризуется возрастающей сложностью условий разработки месторождений, в частности маломощных рудных залежей, которые требуют применения высокотехнологичных и научно обоснованных методов ведения горных работ. Несмотря на внедрение прогрессивных технологических решений, уровень потерь и разубоживания руды при подземной отработке по-прежнему остается высоким, что существенно снижает эффективность добычи и увеличивает себестоимость. Проблема потерь и разубоживания руд является одним из ключевых показателей в условиях подземной отработки маломощных рудных тел и имеет особую актуальность в условиях истощения запасов. В мировой практике накоплен значительный опыт и разработано множество способов, позволяющих повысить полноту извлечения руд, особенно в странах с развитой горнодобывающей промышленностью, таких как Канада, Австралия и Китай. Однако, эффективность их применения существенно зависит от конкретных горно-геологических условий месторождений и горно-технологических условий разработки.

В последние годы акцент делается на применение высокоточных методов геологоразведки, селективной отработки, а также цифровых технологий и систем управления качеством добычи руды [1–3]. Использование цифровых геомеханических моделей, автоматизированных буровых комплексов, селективной выемки и современных систем

закладки выработанного пространства позволяет достигать высокой экономической и технологической эффективности [1, 2].

Цель данной работы – проанализировать международный опыт снижения потерь и разубоживания руд при подземной разработке маломощных залежей и обосновать целесообразность применения системы подэтажной скважинной отбойки руды с сухой закладкой как эффективного технического решения, обеспечивающего полноту извлечения руд, устойчивость горного массива, повышение качества добычи и экологическую безопасность.

Обзорный анализ международного опыта

Канадская горнодобывающая промышленность обладает богатым опытом отработки маломощных рудных тел. Одной из основных задач при отработке таких залежей является минимизация потерь и разубоживания руды, что достигается благодаря применению прогрессивных технологий и методов планирования. Широко применяются системы *cut and fill* и *sublevel stoping*, особенно на месторождениях золота и медно-никелевых руд в провинциях Онтарио и Британская Колумбия [3]. Этот метод обеспечивает высокую селективность и минимальное разубоживание, особенно в условиях слабых вмещающих пород. Он позволяет адаптироваться к изменяющейся геометрии рудного тела и обеспечивает высокий уровень контроля над процессом добычи [4].

Также Канада является одним из мировых лидеров в отработке узких рудных тел с применением систем подэтажной скважинной отбойки (*Sublevel Stopping*) в сочетании с закладкой выработанного пространства. На руднике Mouska (Quebec), ранее эксплуатируемом компанией Cambior Inc., применялась высокоселективная система отработки жил мощностью 10–30 см с шириной очистных выработок до 1,5–1,8 м. Использование буровзрывных работ с цифровыми детонаторами (*i-kon™*) позволило повысить точность формирования контуров и свести переотбойку к минимуму [5]. Закладка велась сухим способом с применением пустой породы, поступающей из капитальных выработок. Уровень уплотнения достигался за счет естественного самоуплотнения и дополнительной послонной подсыпки. Такой подход обеспечивал устойчивую кровлю выработки и минимальные деформации приконтурной части массива.

Канадские горнодобывающие предприятия успешно применяют разнообразные методы для отработки маломощных рудных тел, адаптируя выбор метода к геометрии рудного тела, геомеханическим условиям и экономическим факторам. Применение инновационных технологий, таких как термическое фрагментирование, а также тщательное планирование и контроль за процессами добычи позволяют минимизировать потери и разубоживание руды, повышая эффективность и устойчивость горнодобывающих операций.

В Австралии подход к снижению потерь и разубоживания руды базируется на интеграции геоинформационных систем, 3D-моделирования и инструментов автоматизированного бурения [4, 5]. Успешно применяется технология LIDAR-сканирования выработок и использование буровых станков с системами GPS-навигации и телеметрии, что обеспечивает высокую точность бурения и снижает разброс буровых скважин [6]. На руднике Cragow (Квинсленд) внедрение системы *Minnovare Production Optimiser* позволило сократить отклонения буровых скважин и снизить среднее разубоживание на 62%. Это обеспечило экономически эффективную отработку узких жил шириной менее 1,5 м, ранее считавшихся нерентабельными [6]. Исследования компании AMC Consultants показали, что уменьшение размеров выработок, применение специализированных схем бурения и использование низкоплотных эмульсионных взрывчатых веществ позволяют существенно снизить разубоживание при отработке тонких рудных залежей.

Также на рудниках Австралии (MMG Limited Dugald River) и Новой Зеландии (OceanaGold Waihi) [7] в целях снижения сверхпланового разубоживания руды широко применяется тросовое крепление (*cable bolts*) для поддержания висячего и лежащего боков.

Китайская горнодобывающая промышленность активно внедряет современные методы и технологии для эффективной отработки маломощных рудных тел, стремясь минимизировать потери и разубоживание руды. В этой стране значительные усилия направлены на развитие концепции «умной шахты». Китайские горнодобывающие предприятия активно внедряют искусственный интеллект для прогнозирования потерь руды и управления процес-

сом бурения. Применение алгоритмов на основе базы данных позволяет формировать адаптивные схемы бурения, минимизирующие отклонения от проектных контуров [8]. Кроме того, использование георадиолокационных сканеров в сопряжении с BIM-моделями позволяет выявлять границы рудных тел и оптимизировать отбойку руды.

Традиционно в Китае на месторождениях с крутопадающими маломощными жилами широко применялась камерная система разработки. Однако этот метод характеризуется высоким уровнем потерь и разубоживания, достигающим 40% и более. Для решения этих проблем многие предприятия начали переход к системе разработки с закладкой. К примеру, на золотодобывающем руднике Суйчан (провинция Чжэцзян) до модернизации использовалась *shrinkage stopping* система разработки с ручным бурением и выемкой руды, что приводило к высокой степени разубоживания (до 40%) и низкой производительности (30 т/сутки). Внедрение механизированной технологии горизонтально-слоистой системы с сухой закладкой с использованием буровых установок и погрузочно-доставочных машин (LHD) позволило снизить разубоживание до 10%, увеличить производительность до 110 т/сутки и повысить коэффициент извлечения руды с 95% до 98%. Закладка сопровождается применением GPR-сканеров, BIM-моделей и алгоритмов ИИ для точной локализации контуров рудных тел. Экономический эффект от модернизации составил более 18 миллионов юаней [9].

В России маломощные рудные тела традиционно отрабатываются с применением узкозахватной технологии очистных работ. Примером являются месторождения Чукотского и Забайкальского регионов. Разрабатываются технологии интеграции геомеханических моделей с данными бурения для управления устойчивостью массива и выбора оптимальных параметров отбойки.

Также в горнодобывающей промышленности России для повышения эффективности добычи, управления геомеханическим состоянием массива, снижения себестоимости добычи и утилизации максимально возможного объема отходов горнодобывающего производства в пустотах недр в специфических условиях, когда обособленно ни одна из систем подземной разработки не обеспечивает необходимого эффекта, применяют комбинированные системы разработки (КСР).

Примером комбинированной системы разработки является технология, при которой В.В. Готовым предлагается разрабатывать жилы с изменчивой мощностью путем комбинации системы с магазинированием руды для участков выдержанной мощности и системы с отдельной выемкой в местах пережима жилы. При уменьшении мощности жилы ниже допустимой ширины очистного пространства переходят на технологию очистных работ с отдельной выемкой руды и породы. На замагазинированную руду укладывают перекрытие, на которое первоначально отбивают руду и выпускают ее на откаточный горизонт по рудодоспускам блоковых восстающих. Затем отбивают породу и оставляют ее в очистном пространстве, что позволяет снизить разубоживание на 30–50%.

Еще одним примером внедрения технологии, направленной на повышение полноты извлечения руды, является

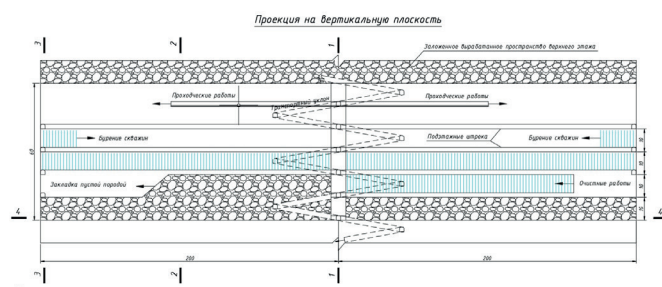
рудник Карнасурт, которая ведет добычу редкоземельных элементов, и где рудная залежь представлена маломощными рудными телами (0,6–2,4 м) с углом падения 12–18°. За время существования рудника применялись различные варианты сплошной камерной и камерно-столбовой систем разработки. Недостатками при этом являлись высокие значения потерь, использование низкопроизводительного стационарного оборудования и ручного труда, обусловленных ограниченной высотой рабочего пространства. При переходе на комплексы самоходного оборудования производительность труда значительно повысилась, однако то же самое произошло с показателями разубоживания вследствие увеличения высоты очистного пространства и примешивания пустых пород кровли [10]. В 70-х годах XX века с целью сохранения и последующей отработки вышележащих пластов забалансовых руд и улучшения показателей извлечения И.И. Бессоновым была предложена КСР, основанная на сочетании сплошной системы разработки и системы с закладкой. Суть системы заключается в опережающей отработке пород кровли с целью получения закладочного материала и последующей выемки рудного тела с закладкой выработанного пространства ранее извлеченными пустыми породами. На всех процессах выемки применяется самоходное оборудование. Такая система позволила в 2–3 раза снизить потери руды в целиках и разубоживание от налегающих пород, исключить вредное влияние больших объемов образовавшихся пустот на подработанную толщу пород. Однако широкого распространения данная система не получила [11].

Также на данном руднике введена технология очистной выемки парными заходками, которая позволяет вслед за продвижением забоя крепить кровлю во вторых заходках. А выемку первых заходок можно вести без крепления, так как в них не присутствуют горнорабочие в течение всего времени отработки блока. Установлено, что очистная выемка балансовых запасов в блоке парными заходками позволит применить анкерное крепление для поддержания пород кровли. Использование анкерного крепления в очистном пространстве ограниченной высоты вместо внутриблоковых целиков и технологии селективной выемки на основе взрыворазделения руды и пород лежащего бока во второй заходке сокращают потери и разубоживание добытой руды на 9–11 и 22–27%, соответственно.

При разработке «Тасеевского» золоторудного месторождения применялась комбинация систем разработки с магазинированием и закладкой. Сущность этого варианта КСР заключается в том, что перед отработкой камерных запасов на их границе проходят щели, в которых формируются бетонные барьерные целики, позволяющие отработать запасы камер в проектных контурах. Щели создавали мелкошпуровым способом с магазинированием руды. После выпуска руды данные камеры закладывались твердеющей смесью с добавлением породы из проходческих забоев. Внедрение КСР позволило добиться снижения себестоимости добычи 1 м³ руды на 19% по сравнению с ранее применявшейся системой горизонтальных слоев с закладкой [12].

Разработка маломощных крутопадающих рудных тел сопряжено с высокими технико-экономическими трудно-

стями. При использовании традиционных систем разработки потери полезного компонента и степени разубоживания часто выходят за пределы проектных норм. В таких условиях ключевое значение приобретает обоснованный выбор горнотехнических решений, обеспечивающих высокую точность вскрытия и отработки, устойчивость горного массива и минимизацию эксплуатационных потерь. В мировой практике эксплуатации маломощных и тонких крутопадающих жильных месторождений находят все большее распространение системы разработки с закладкой выработанного пространства. Для повышения полноты извлечения одним из эффективных решений является применение системы подэтажной скважинной отбойки с последующей сухой закладкой выработанного пространства. На рис. 1 показан пример системы подэтажной скважинной отбойки руды с сухой закладкой. Данная технология применяется на рудниках El Peñón (Чили), Ken Snyder (Невада, США), Mt. Isa lead mine (Австралия), Stillwater (Монтана, США).



**Рис. 1. Система подэтажной скважинной отбойки руды с сухой закладкой (Bench and fill).
Сурет 1. Құрғақ толтырумен подэтаждық ұңғымалық қопару жүйесі (Bench and fill).
Figure 1. Sublevel long-hole stopping system with dry backfill (Bench and fill).**

При данной системе разработки вскрытие осуществляется на всю глубину этажа проведением транспортного съезда, вентиляционных штреков и сбоек, а также вентиляционно-ходовых восстающих. Далее ведутся подготовительные работы с помощью проходки заездов на подэтажи и подэтажных штреков, отрезных восстающих на флангах снизу-вверх. После проведения двух подэтажных штреков начинается процесс бурения скважин от флангов к центру. После обурирования нижних двух подэтажей начинаются очистные работы в отступающем порядке. После окончания очистных работ на подэтаже начинается закладка выработанного пространства сухой закладкой в наступающем порядке. В качестве сухой закладки используется пустая порода с проходки горно-капитальных и подготовительных выработок фракцией 5÷300 мм. Разгрузка автосамосвалов, транспортирующих породную закладку, осуществляется непосредственно на подэтажном штреке, для чего кузова самосвалов переоснащаются на эжекторные (*Ejector style dump box*), либо с помощью ковшовых ПДМ, выполняющих роль бульдозера с соблюдением мер безопасности. Для разгрузки автосамосвала на почву выработки в таком случае предусматривается

разгрузочный пункт. Порода распространяется по камере самотеком под действием силы тяжести. При этом в выработанном пространстве в районе места подачи закладка отсыпается в виде конуса с углом естественного откоса 30–40°. По истечении времени за счет воздействия на них веса передвигающейся по породной закладке ПДМ происходит уплотнение закладочного массива. Соответственно образовывается усадка закладочного материала и уровень закладки понижается. Для ликвидации появляющихся недозакладов за счет усадки закладочного массива периодически, а также перед началом отработки вышележащего выемочного подэтажа производится подсыпка породы и восстановление уровня закладочного массива до кровли отработанных камер.

Применение систем разработки с восходящей выемкой и сухой закладкой обеспечивает высокую безопасность ведения горных работ, возможность складирования всего объема пустых пород в выработанном пространстве рудника, обеспечивается устойчивость приконтурной части массива, за счет чего достигаются показатели планового разубоживания руды. Сухая закладка, выполняемая с контролем уплотнения и состава материала, позволяет избежать развития неустойчивости кровли и боков, а также снизить риск вывалов и сдвижек. Данная система разработки обеспечивает: применение современного самоходного оборудования на всех процессах очистной выемки; высокие показатели извлечения; высокую производительность труда; низкий объем подготовительно-нарезных работ; низкую себестоимость добычи руды.

По мнению авторов, перспективным направлением является использование системы подэтажной скважинной отбойки руды с сухой закладкой (рис.1) на месторождении Акбакай в Жамбылской области Казахстана вместо применяемой на данный момент подэтажно-камерной системы с торцевым выпуском руды (рис. 2) позволило бы более эффективно управлять состоянием массива вмещающих пород, тем самым уменьшить сверхнормативные потери и разубоживание. Переход к предлагаемой системе разработки не только повысит экономическую эффективность, но и будет способствовать улучшению экологической обстановки.

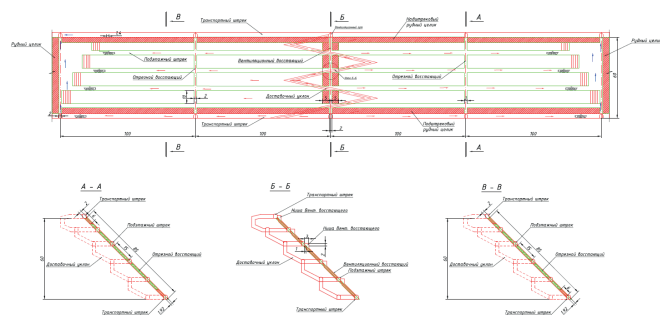


Рис. 2. Подэтажно-камерная система разработки с торцевым выпуском руды, применяемая на руднике Акбакай.

Сурет 2. Ақбақай кенішінде қолданылатын торцтық түсірумен подэтаждық-камералық қазу жүйесі.
Figure 2. Sublevel stopping with end ore draw system used at the Akbakai mine.

Обсуждение результатов

Обзор мировой практики разработки маломощных рудных залежей показывает, что снижение потерь и разубоживания руд возможно при реализации комплекса взаимосвязанных мер:

- оптимизация систем разработки (*cut and fill, sublevel stopping, room and pillar*);
- внедрение цифровых и навигационных систем контроля бурения и отбойки;
- использование высокоточных средств разведки и мониторинга границ рудных тел;
- интеграция геомеханических моделей и геостатистического анализа.

Эффективность данных подходов особенно высока в условиях крутопадающих рудных тел малой мощности, где точность работ определяет технико-экономические показатели предприятия. При этом наибольшие сложности могут быть связаны с интеграцией информационных систем и адаптацией технологий к местным горно-геологическим условиям.

Проведенный анализ международного опыта свидетельствует о высоком уровне развития технологий снижения потерь и разубоживания руд при отработке маломощных залежей в различных странах. В Канаде приоритет отдается селективным системам *cut and fill* и *shrinkage stopping*, позволяющим достигать высокой точности и минимального разубоживания, в том числе благодаря цифровому управлению взрывными работами. В Австралии наблюдается активная интеграция цифровых геомоделей и автоматизированного бурения, что позволяет достигать высокой точности выемки даже в жилах малой мощности, ранее считавшихся нерентабельными. Китай демонстрирует комплексный подход за счет применения искусственного интеллекта, GPR-сканеров и BIM-моделей для прогнозирования границ рудных тел и управления буровзрывными работами. Российская практика характеризуется внедрением комбинированных систем разработки и широким применением самоходного оборудования. Примеры рудников Карнасурт и Тасеевское демонстрируют значительное снижение потерь и разубоживания благодаря интеграции закладочных технологий и селективной выемки. Наиболее перспективной технологией, по мнению авторов данной работы, является подэтажная скважинная отбойка руды с последующей сухой закладкой. Преимущества данной системы заключаются в повышении устойчивости массива, возможности утилизации пустой породы и снижении экологических рисков. Внедрение этой технологии при разработке глубоких горизонтов маломощных месторождений способно привести к значительному снижению эксплуатационных потерь и улучшению технико-экономических показателей. Таким образом, результаты проведенного анализа подчеркивают актуальность адаптации проверенных международных решений в отечественные горнотехнические условия.

Выводы

В результате проведенного анализа установлено, что снижение потерь и разубоживания руд при разработке маломощных рудных тел требует комплексного подхода,

включающего современные технологии бурения, селективную отработку, цифровое моделирование и применение закладочных материалов.

Международная практика показывает, что наибольшей эффективностью обладают системы разработки, основанные на подэтажной скважинной отбойке руды с последующей сухой закладкой. Такие технологии успешно применяются в Канаде, Австралии, Китае и обеспечивают высокие технико-экономические показатели, надежность и безопасность горных работ. Российский опыт демонстрирует перспективы перехода к комбинированным системам разработки и внедрению современных методов управления качеством руд.

Подэтажная скважинная отбойка с сухой закладкой представляет собой эффективное решение при разработке маломощных крутопадающих рудных тел на глубоких горизонтах. Применение данной технологии позволяет достичь существенного снижения потерь, повысить устойчивость массива и обеспечить высокую технико-экономическую эффективность работ. Внедрение данной системы разработки позволяет сократить расходы на строительство искусственных опор и повысить производительность труда, использовать хвосты обогащения для закладки пустот, при которой снижаются объемы отходов и уменьшается нагрузка на хвостохранилища. Использование пустых пород от проходческих работ позволит существенно сократить затраты не только на закладочные работы, но и на содержание различного рода отвалов и хвостохранилищ, соответственно уменьшив площади земель для горных отвалов. Применение предлагаемой технологии на месторождениях, ведущих разработку маломощных рудных залежей, способно обеспечить значительное улучшение

результатов добычи, снижение затрат, минимизацию экологических воздействий и повышение устойчивости эксплуатационных участков. Таким образом, применение международного опыта в отечественной практике открывает новые возможности для оптимизации разработки сложных геологических объектов и повышения рентабельности подземной добычи.

Дальнейшее направление исследований заключается в обосновании возможности применения системы подэтажной скважинной отбойки руды с сухой закладкой в восходящем порядке при разработке маломощных месторождений на глубоких горизонтах. Для этого планируется изучение геомеханического состояния массива вокруг глубокозалегающих руд во взаимодействии с закладкой, размещенной в выработанном пространстве методом численного моделирования; определение зависимости коэффициента устойчивости от различных условий, определение прогнозных показателей потерь и разубоживания; выполнение технико-экономического обоснования с учетом прогнозных показателей потерь и разубоживания; проведение опытно-промышленных испытаний применения данной системы подэтажной скважинной отбойки руды с сухой закладкой на месторождении Акбакай.

Благодарность

Статья опубликована в рамках конкурса на грантовое финансирование молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2025–2027 годы (ИРН – АР27511129), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гапонов Ю.С. Геомеханическое обоснование устойчивости породных отвалов с учетом влияния характеристик разрушенной горной массы: дис. ... канд. техн. наук, М., 2015. С. 25–26 (на русском языке)
2. Влияние на устойчивость отвалов гидроизоляции основания с применением геомембран / Кутепова Н.А. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2025. № 1. С. 47–65 (на русском языке)
3. Немова Н.А., Бельш Т.А. Геомеханическая оценка устойчивости откосов и уступов месторождения «Олений Ручей» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 11. С. 109–120 (на русском языке)
4. Ковров О.С., Бабий Е.В., Бубнова Е.А. Геомеханическая оценка устойчивости внутреннего отвала на подработанном основании борта карьера // Научный вестник НГУ. Серия: Геология и горное дело. 2022. № 3. С. 55–67 (на русском языке)
5. Skagway J., Miller D., Thompson R. Характеристика опасности камнепадов с использованием интегрированного кинематического анализа // EGUSphere. 2025. С. 2–3 (на английском языке)
6. Liu Y., Zhang L., Chen J. Геотехническая оценка устойчивости склонов с использованием кинематического анализа: пример с автодорогой в провинции Аньхой // Water. 2023. Т. 15 (10). № 1924. С. 22–24 (на английском языке)
7. Kumar S., Sharma V., Singh R. Применение различных расширений рейтинга массива склонов и кинематического анализа для оценки устойчивости склонов вдоль трассы NH-9, Индия // Geoenvironmental Disasters. 2025. Т. 12. № 36. С. 15–18 (на английском языке)
8. Singh A., Verma P., Elmo D. Влияние геометрических параметров на клиновидное разрушение склонов // Journal of Rock Mechanics. 2025. Т. 50 (2). С. 145–160 (на английском языке)

9. *Определение устойчивого состояния техногенных обнажений при отработке наклонных рудных залежей камерно-столбовой системой разработки / Мусин А.А. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2024. № 10. С. 6–12 (на русском языке)*
10. *Снижение разубоживания руды при отработке тонких рудных тел путем искусственного поддержания выработанного пространства / Мусин А. [и др.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. Т. 17. № 1. С. 35–42 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гапонов Ю.С. Жарықшақтанған тау жыныстарының сипаттамаларын ескере отырып, жыныс үйінділерінің тұрақтылығын геомеханикалық негіздеу: техникалық ғылымдар кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация, М., 2015. Б. 25–26 (орыс тілінде)
2. Геомембраналарды қолдану арқылы үйінділердің негізін гидроқшаулау тұрақтылыққа әсері / Кутепова Н.А. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2025. № 1. Б. 47–65 (орыс тілінде)
3. Немова Н.А., Бельш Т.А. «Олений Ручей» кен орнының қиялары мен сатыларының тұрақтылығын геомеханикалық бағалау // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Георесурстар инжинирингі. 2019. Т. 330. № 11. Б. 109–120 (орыс тілінде)
4. Ковров О.С., Бабий Е.В., Бубнова Е.А. Карьер жиегінің өңделген негізіндегі ішкі үйіндінің тұрақтылығын геомеханикалық бағалау // НГУ ғылыми хабаршысы. Геология және тау-кен ісі сериясы. 2022. № 3. Б. 55–67 (орыс тілінде)
5. Skagway J., Miller D., Thompson R. Интеграцияланған кинематикалық талдау арқылы тас құлауы қаупінің сипаттамасы // EGU sphere. 2025. Б. 2–3 (ағылшын тілінде)
6. Liu Y., Zhang L., Chen J. Кинематикалық талдау қолдана отырып, еңістердің тұрақтылығын геотехникалық бағалау: Аньхой автожолы мысалында // Water. 2023. Т. 15 (10). № 1924. Б. 22–24 (ағылшын тілінде)
7. Kumar S., Sharma V., Singh R. NH-9 бойындағы еңістердің тұрақтылығын бағалау үшін еңіс массасының рейтингін және кинематикалық талдау кеңейтулерін қолдану, Үндістан // Geoenvironmental Disasters. 2025. Т. 12. № 36. Б. 15–18 (ағылшын тілінде)
8. Singh A., Verma P., Elmo D. Тау жыныстарының қияларындағы сына тәрізді қирауларға геометриялық параметрлердің әсері // Journal of Rock Mechanics. 2025. Т. 50 (2). Б. 145–160 (ағылшын тілінде)
9. Камералық-бағаналық жүйемен еңіс рудалы денелерді өндіру кезінде техногендік ашылымдардың тұрақты жағдайын анықтау / Мусин А.А. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. № 10. Б. 6–12 (орыс тілінде)
10. Жұмыс істелген кеңістікті жасанды түрде ұстап тұру арқылы жұқа рудалы денелерді өндіру кезінде руданың кедейленуін азайту / Mussin A. [және т. б.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. Т. 7. № 1. Б. 35–42 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Gaponov Yu.S. Geomekhanicheskoe obosnovanie ustoichivosti porodnykh otvalov s uchetom vliyaniya kharakteristik razrushennoi gornoi massy: dis. ... kand. tekhn. nauk [Geomechanical justification of the stability of rock waste dumps considering the influence of fractured rock mass characteristics: dissertation ... candidate of technical sciences], Moscow, 2015. 25–26 pp. (in Russian)
2. Vliyanie na ustoichivost' otvalov gidroizolyatsii osnovaniya s primeneniem geomembran [Influence of base waterproofing using geomembranes on dump stability], Kutepova N.A. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2025. No. 1. 47–65 pp. (in Russian)
3. Nemova N.A., Belsh T.A. Geomekhanicheskaya otsenka ustoichivosti otkosov i ustupov mestorozhdeniya «Olenii Ruchei» [Geomechanical assessment of slope and bench stability at the Oleniy Ruchey deposit], Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering]. 2019. V. 330. No. 11. 109–120 pp. (in Russian)
4. Kovrov O.S., Babiy E.V., Bubnova E.A. Geomekhanicheskaya otsenka ustoichivosti vnutrennego otvala na podrabotannom osnovanii borta kar'era [Geomechanical assessment of the stability of an internal dump on a mined-out pit wall foundation], Nauchnyi vestnik NGU. Seriya: Geologiya i gornoe delo [Scientific Bulletin of NSU. Series: Geology and Mining]. 2022. No. 3. 55–67 pp. (in Russian)

5. Skagway J., Miller D., Thompson R. *Characterizing rockfall hazard with an integrated kinematic analysis // EGU sphere*. 2025. 2–3 pp. (in English)
6. Liu Y., Zhang L., Chen J. *Geotechnical assessment of rock slope stability using kinematic analysis: A case study along Anhui Highway // Water*. 2023. V. 15 (10). No. 1924. 22–24 pp. (in English)
7. Kumar S., Sharma V., Singh R. *Application of various extensions of slope mass rating and kinematic analysis for slope stability assessment along NH-9, India // Geoenvironmental Disasters*. 2025. V. 12. No. 36. 15–18 pp. (in English)
8. Singh A., Verma P., Elmo D. *The effect of geometrical parameters on wedge failure of rock slopes // Journal of Rock Mechanics*. 2025. V. 50 (2). 145–160 pp. (in English)
9. *Opređenje ustoichivogo sostoyaniya tekhnogennykh obnazhenii pri otrabotke naklonnykh rudnykh zalezhei kamerno-stolbovoi sistemoi razrabotki [Determination of the stable state of man-made exposures during mining of inclined ore bodies by the chamber-and-pillar method], Mussin A.A. [et al.], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2024. No. 10. 6–12 pp. (in Russian)
10. *Reduction of ore dilution when mining low-thickness ore bodies by means of artificial maintenance of the mined-out area / Mussin A. [et al.] // Mining of Mineral Deposits*. 2023. V. 17. Issue 1. 35–42 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Суимбаева А.М., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.suimbaeva@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6582-9977>
Матаев А.Қ., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.mataev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>
Ауелбекова А.Ж., ст. преподаватель кафедры «Рудничная аэрология и охрана труда», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.uelbekova@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8340-6177>
Шлатаев Ж., ведущий инженер по проектированию технического отдела рудника «Нурказган» ТОО «Корпорация Казахмыс» (г. Караганда, Казахстан), Zhenis.Shlataev@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-2785-7851>

Авторлар туралы мәліметтер:

Суимбаева А.М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)
Матаев А.Қ., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)
Ауелбекова А.Ж., «Кеніштік аэрология және еңбек қорғау» кафедрасының аға оқытушысы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)
Шлатаев Ж., «Нұрқазган» кенішінің техникалық бөлімінің жобалау бойынша жетекші инженері, «Қазақмыс корпорациясы» жауапкершілігі шектеулі серіктестігі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Introduction about the authors:

Suimbayeva A., Ph.D, acting associate professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Matayev A., Ph.D, acting Associate Professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Auelbekova A., Senior lecturer of the Department «Mine aerology and labor protection» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Shlataev Zh., Senior Design Engineer of the Technical department of the «Nurkazgan» mine, «Kazakhmys Corporation LLP» Limited liability partnership (Karaganda, Kazakhstan)