

зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан 04.04.2013 г.
Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания 13508-Ж.

Издается с января 2003 г.

Приказом №1082 от 10.07.2012 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

В журнале публикуются материалы, отражающие состояние и перспективы развития геологии, горного дела и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом. Журнал освещает проблемы охраны труда и техники безопасности, экономики, подготовки кадров и других вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом. В журнале представлены статьи прикладного характера, результаты фундаментальных исследований, служащие основой для новых технических разработок.

При перепечатке материалов ссылка на Горный журнал Казахстана обязательна. Ответственность за достоверность сведений в публикуемых статьях и рекламных материалах несут авторы и рекламодатели. Мнение редакции не всегда может совпадать с мнением авторов.

Адрес редакции:
050026, г. Алматы,
ул. Карасай батыра, 146, оф. 401.
Тел.: 8 (727) 375-44-96

minmag.kz

Представители журнала:

Центрально-Казахстанский регион –
ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ ДЕМИН
vladfdemin@mail.ru

Российская Федерация, Москва –
ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ
shvetsirina@yandex.ru

Российская Федерация, Сибирский регион –
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК
shaposhnikyury@mail.ru

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

Подписной индекс **75807** в каталогах:
АО «Казпочта»,
ТОО «Эврика-Пресс»,
ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать **20.08.2020 г.**

Отпечатано:
«Print House Gerona»
ул. Сатпаева 30А/3, офис 124
тел: + 7 727 250-47-40,
+ 7 727 398-94-59,
факс: + 7 727 250-47-39

УЧРЕДИТЕЛЬ И СОБСТВЕННИК
ТОО «Научно-производственное
предприятие «ИНТЕРРИН»



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Ю.А. БОЧАРОВА, Yuliya.Bocharova@interrin.kz

Специалист по связям с общественностью

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Помощник редактора

И.П. КОНОНОВА (ПАШИННИНА),
Irina.Pashinina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

Fathi Nabashi (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c.
[St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima],
Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD,
Professor of Mining Engineering

З.С. Абишева, д-р техн. наук, академик КазНАН

Ж.Д. Байгурин, д-р техн. наук, профессор

А.Б. Бегалинов, д-р техн. наук, профессор

А.М. Бейсебаев, д-р техн. наук, профессор

А.А. Бекботаева, PhD

А.А. Бектыбаев, канд. техн. наук

В.А. Белин (Россия), д-р техн. наук, профессор

В.И. Бондаренко (Украина), д-р техн. наук, профессор

Н.С. Буктуков, д-р техн. наук, профессор

А.Е. Воробьев (Россия), д-р техн. наук, профессор

С.Ж. Галиев, д-р техн. наук, профессор

А.И. Едильбаев, д-р техн. наук

Е.К. Едыгенов, д-р техн. наук, профессор

В.Г. Загайнов, канд. техн. наук

А.А. Зейнуллин, д-р техн. наук, профессор

Д.Р. Каплунов (Россия), д-р техн. наук, профессор

А.А. Лисенков, д-р техн. наук, профессор

В.Л. Лось, д-р геол.-минерал. наук, профессор

В.А. Луганов, д-р техн. наук, профессор

С.К. Молдабаев, д-р техн. наук, профессор

В.С. Музгина, д-р техн. наук

В.И. Нифадьев (Кыргызстан), д-р техн. наук, профессор

М.Б. Нурпеисова, д-р техн. наук, профессор

Е.Н. Ольшанский, член-корреспондент МАИН

Е.А. Петров (Россия), д-р техн. наук, профессор

И.Н. Столповских, д-р техн. наук, профессор

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Р.Р. Ходжаев, д-р техн. наук

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 4** «Казцинк» внедрил новую технологию по креплению выработок®
- 5** Жидкостные пускатели компании MKS для двойного привода®
- 6** Президент Казахстана наградил «Казцинк» за помощь во время пандемии коронавируса®
- 7** Обмен профессиональным опытом и постоянное сотрудничество между Институтом ТОМС и компанией KÖPPERN в работе по измельчению железорудного концентрата с помощью ВПВД®
- 8** *Пустовалов И.А.*
Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов – для нас нет ничего невозможного®
Геодезия
- 10** *Гоипов А.Б., Ахмадов Ш.И., Мовланов Ж.Ж.*
Изучение минерализованных зон гор Букантау по космическим снимкам в коротковолновом инфракрасном диапазоне
- 15** *Аймбетова Г.А., Цычуева Н.Ю.*
Прогнозирование оползневых процессов по оптическим снимкам Сентинел-2 и индексу NDVI
Геомеханика
- 21** *Сдвижкова Е.А., Кравченко К.В., Имансакипова Б.Б., Шакиева Г.С.*
Повышение эффективности комбинированного метода ранжирования участков трассы метро по степени проблемности
Разрушение горных пород
- 29** *Имашев А.Ж., Судариков А.Е., Мусин А.А., Матаев А.К.*
Повышение эффективности буровзрывных работ с учетом структурных и прочностных свойств массива
Переработка полезных ископаемых
- 36** *Akimbekov N.Sh., Tastambek K.T., Sherelkhan D.K., Berdikulov B.T.*
The creation of a composite based on Kazakhstan brown coal and microbial community
Металлургия
- 42** *Абишева А.К., Акишев А.Х., Фоменко С.М., Толендыулы С.*
Химические процессы и влияние высокодисперсных термообразований сульфатмагниевого связующего на спекание огнеупорных масс
Промышленная безопасность
- 47** *Дрижд Н.А., Замалиев Н.М., Даулетжанов А.Ж., Даулетжанова Ж.Т.*
Профилактика самовозгорания в горных выработках при подземной угледобыче
Юбилей
- 53** Марат Жакупович Битимбаев (к 80-летию со дня рождения)
- 54** Требования к оформлению статей
- 56** Памяти Владимира Константиновича Вороненко (1939-2020)

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

Дорогие читатели!

Уважаемые коллеги!

В условиях продолжающегося карантина чтение любимых и полезных журналов и книг представляется одним из оптимальных средств проведения обрушившегося на многие головы свободного времени. В этом направлении оптимальным представляется вариант знакомства со статьями в «Горном журнале Казахстана» по электронной почте. Как бы то ни было, мы стараемся отбирать для публикации интересные с точки зрения стоящей на повестке дня проблематики в наших родных профессиональных интересах.

Провожая в этом номере очередное лето (представляете, друзья, уже 2020 года), как всегда, хочу поздравить всех, имеющих причастность к горному делу, с Днем шахтера – праздником, имеющем особое значение в наших ежедневных буднях. Значимость и ценность нашего труда заключается, в первую очередь, в том, что использование минеральных ресурсов недр Земли – это один из краеугольных камней существования и развития мировой цивилизации. С момента, когда человек достиг уровня использования орудий труда, он начал и непрерывно продолжает искать, добывать, перерабатывать и использовать содержимое недр Земли, увеличивая объемы и

глубину проникновения, количество используемых минералов и горных пород, улучшая технологии всех переделов и достигнув того предела, когда следует сказать: «Стоп! Так дальше продолжаться не может!»

Почему? Потому что наша нужная работа в итоге оказывает губительное для неживой природы, оборачивающееся катастрофой для самого человека воздействие на литосферу, разрушая ее, нарушая установившийся баланс, захламляя поверхность отходами производства. Поэтому XXI век обозначен для человечества безальтернативной необходимостью, продолжая добывать все больше, качественно изменить само содержание терминов «полезное ископаемое», «добыча и переработка», «очистное пространство». Будем уверены, что так и будет!

А наш праздник будет всегда, потому что наш труд нужен с любым его содержанием. С праздником вас, коллеги – все, кто своим трудом делает жизнь человечества краше, легче, желанней и богаче! Будьте счастливы и здоровы, умеете по-шахтерски преодолевать все трудности, достигайте намеченных целей, любите, растите детей!

В канун праздника хочу особо выделить одно событие, которое осталось незамеченным и уже полузабытым даже в нашей горняцкой среде. Событие, характеризующее «горняцкое братство» – рабочих и инженеров, ученых и проектировщиков, предпринимателей и производителей оборудования – как ответственных, мужественных, заботливых, талантливых, глубоко человеческих людей. Оно и кажется обыденным, потому что для горняков взаимовыручка, любовь к своему ближнему, чувства дружбы и товарищества, ответственность на любом уровне должностной лестницы всегда были и есть обыденное, необсуждаемое дело.

Оно произошло 10 лет назад, 5 августа 2010 года, когда в Чили на шахте Сан-Хосе на глубине 700 м обрушилась кровля в районе горных работ и 33 горняка оказались замурованными. Беспрецедентная спасательная операция длилась 69 дней, в итоге все люди были спасены.

Можно кратко сказать, что такая победа человека над природой стала возможной благодаря:

- решительным, быстрым и правильным совместным действиям правительства, инженерного персонала, компании и особенно специалистов по горно-шахтному оборудованию, которые в кратчайшие сроки создали с «нуля» специфическое и нестандартное оборудование, не выпускавшееся до сих пор никем и нигде;
- мужескому и крепкому шахтерскому чувству взаимопомощи и взаимопонимания, которое помогло в замкнутом пространстве прожить вместе 69 дней на глубине 700 м.

Напоминание об этом событии звучит в праздничные дни гимном, прославляющим горняков как людей, достойных всех почестей и наград, уважения и почета.

Слава шахтерам во веки веков!



«КАЗЦИНК» ВНЕДРИЛ НОВУЮ ТЕХНОЛОГИЮ ПО КРЕПЛЕНИЮ ВЫРАБОТОК

Горняки «Казцинка» предложили новое для компании решение по креплению горных выработок – полностью механизированное. Оно направлено на защиту работников от обрушения горной массы в незакрепленных участках. В настоящее время технология испытывается на Долинном руднике Риддерского горно-обогатительного комплекса, и уже есть положительные результаты.



Установка сетки

Как известно, вопрос безопасности является одним из основополагающих при проходке горных выработок. Традиционный способ рассматривает установку анкерной крепи в два этапа. Сначала дистанционно устанавливают временную крепь, потом с применением ручного оборудования монтируют железобетонные штанги. Во время работ сотрудники находятся на незакрепленном участке – в зоне риска. К тому же, двойная работа дает значительное удорожание процесса.

Специалисты «Казцинка» стараются внедрять наиболее эффективные технологии, и, исходя из лучшего мирового опыта (подобная технология успешно применяется в Австралии на руднике George Fisher в составе Glencore), приняли решение использовать новые полимерные материалы и полностью механизировать процесс.

– Для условий Долинного рудника РГОК было предложено крепление горных выработок сталепolyмерным методом с применением уже имеющихся самоходных буровых агрегатов, – рассказывает **Евгений Рыбин**, главный специалист-горняк управления горного производства ТОО «Казцинк». – *Преимущества данного способа говорят сами за себя. Установка*

выполняется из закрепленного участка, не требует работ на высоте и исключает ручной труд. Крепь более качественная, так как анкеры предварительно натягиваются и затягиваются механизированным способом. Быстротвердеющая смесь на основе полимерной смолы обеспечивает полный контакт анкера и стенок скважины с закрепляющим составом. Механизированный метод дает возможность установки сетки большей площади, что позволяет увеличить расстояние продвижения забоя.

Новая технология не требует дополнительного переоборудования самоходных буровых установок. Машина выполняет полный цикл проходческих операций: оборка заколов, крепление выработки и бурение забоя с непрерывной цикличностью, что значительно повышает скорость, а значит, производительность всего комплекса проходческих работ.

Компания стремится к совершенствованию и повышению безопасности выполнения работ. Новая технология крепления выработок – это еще один большой шаг вперед в данном направлении.



Новая технология не требует дополнительного переоборудования самоходных буровых установок

Материалы предоставлены Управлением по связям с общественностью ТОО «Казцинк»

ЖИДКОСТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ КОМПАНИИ MKS ДЛЯ ДВОЙНОГО ПРИВОДА

Компания MKS – один из мировых лидеров среди изготовителей жидкостных реостатных пускателей, что подтверждается экспертными знаниями сотрудников в области приводной техники и более чем 100-летним опытом.

Жидкостные реостатные пускатели серии DAFA и DMFA выпускаются в двух исполнениях. В соответствии с диапазоном мощности установлена либо система ножевых электродов, либо классическая система кольцевых электродов. Эти жидкостные реостатные пускатели используются в приводах мельниц, дробилок и других агрегатов с параллельно работающими двигателями.

Приводы работают через редуктор и не могут быть соединены электрически из-за механического соединения мельницы. С жидкостным реостатным пускателем MKS каждый параллельно работающий двигатель имеет собственную систему электродов, которая препятствует перегрузке, возникающей в приводе или редукторе мельницы.

При соответствующих значениях сопротивления достигается высочайшая точность, для чего необходимо следить за синхронностью обеих систем



электродов и поддерживать постоянными температурой и концентрацией электролита.

Реостаты серии DMFA уникальны тем, что все шесть пар электродов находятся в одном баке реостата, что значительно уменьшает размеры.

Реостаты серии DAFA – это два «одинарных» бака, объединенные в один двоянный жидкий стартер. Оба ответвления соединены с валом, чтобы приводить электроды в движение с одинаковой скоростью, и имеют одинаковые положения запуска и остановки. Оба резервуара также соединены с трубой, чтобы электролит циркулировал между всеми шестью парами (2 двигателя × 3 фазы) электродов для обеспечения одинаковой токопроводимости. И все это контролируется одним контроллером. Это дает нам 100% гарантию того, что оба двигателя будут запущены и закорочены с одинаковым сопротивлением, чтобы избежать дисбаланса!



Königskamp 16,
52428 Jülich, Germany
тел. +49 2461 93-58-0
mks@mks-anlasser.de
www.mks-anlasser.de



ПРЕЗИДЕНТ КАЗАХСТАНА НАГРАДИЛ «КАЗЦИНК» ЗА ПОМОЩЬ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ КОРОНАВИРУСА

23 июня в Усть-Каменогорске исполнительный директор по административным вопросам «Казцинк» Андрей Лазарев получил медаль «Халық алғысы» за подписью Президента Республики Казахстан Касым-Жомарта Токаева. Высокая награда дается за широкую социальную работу компании в период борьбы с коронавирусной инфекцией.

Медаль в рамках республиканского онлайн-форума «Biz Birgemiz» вручил аким Восточно-Казахстанской области Даниал Ахметов. Среди инициатив компании было особенно отмечено выделение 10 миллионов долларов для общественного фонда «Birgemiz» для поддержки казахстанцев во время пандемии COVID-19.

Снискало славу и волонтерское движение компании, которое помогало в доставке продуктов, медикаментов тем, кто в этом нуждается. Также «Казцинк» оказал помощь медработникам Центра матери и ребенка, Центра онкологии и хирургии, первой городской больницы Усть-Каменогорска в виде продуктовых наборов, телевизоров и кулеров для воды. 50 млн тенге были направлены пульмонологическому отделению Риддерской городской больницы для приобретения специализированного оборудования, а 500 млн тенге выделили фонду «Парыз» для приобретения экспресс-тестов для граждан и средств индивидуальной защиты для медицинских работников и сотрудников правоохранительных органов. Компания организовала ряд мероприятий для людей, находящихся в самоизоляции.

– Это награда для всего большого коллектива «Казцинк», – отметил Андрей Павлович. – Несмотря на существенные карантинные ограничения, мы смогли не снизить объемы производства, внедрили наиболее



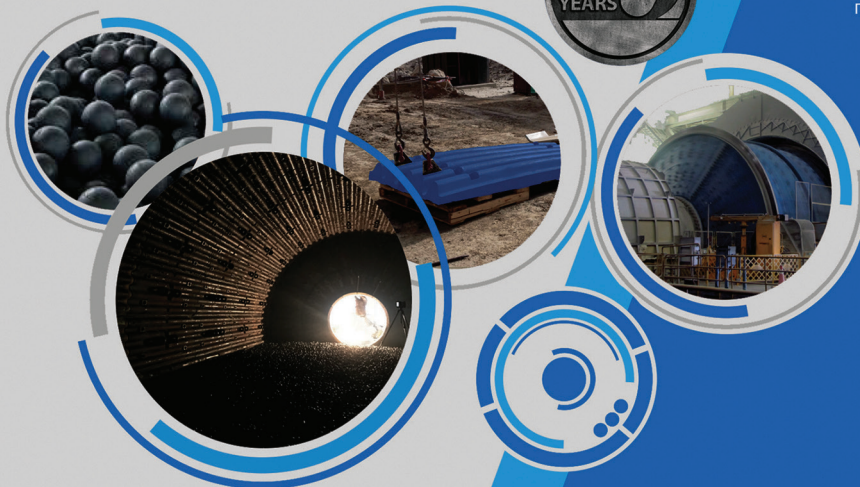
Исполнительный директор по административным вопросам Казцинк Андрей Лазарев получил медаль «Халық алғысы»

эффективные санитарные меры для сотрудников. В том числе и организовали доставку работников в период ограничений транспортом, значительную часть сотрудников перевели на дистанционный режим работы, продолжали платить полную зарплату. Это еще раз подтверждает наш лозунг «Вместе мы можем многое».

Материалы предоставлены Управлением по связям с общественностью ТОО «Казцинк»

ME elecmetal

100
YEARS



ME FITSYSTEM.

Офис тел.: +1-763-201-1879
Моб. тел.: +1-778-875-7525
Email: russia@meglobal.com
www.me-elecmetal.com

**ПОСЕТИТЕ НАШ СТЕНД С5037 НА ВЫСТАВКЕ
«MINING WORLD RUSSIA 2020»
А21-23 АПРЕЛЯ 2020
МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»**

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ДОКАЗАННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными возможностями для обеспечения вашего предприятия надежными и эффективными решениями в технологиях дробления и измельчения. Гарантированное увеличение производительности и уменьшение времени простоя оборудования!

ИЗНАШИВАЕМЫЕ ДЕТАЛИ ДЛЯ МЕЛЬНИЦ

Инновационные решения футеровки для мельниц полусамоизмельчения, самоизмельчения, шаровых и стержневых

- Стальные
- Резиновые
- Композитные

МЕЛЮЩИЕ ТЕЛА

Кованные мелющие шары высочайшего качества для мельниц полусамоизмельчения, самоизмельчения, шаровых и стержневых

- ME Super SAG®: 4" to 6.25"
- ME Ultra Grind®: 1.5" to 4"
- ME Performa® II: 0.88" to 4.0"

ИЗНОСОСТОЙКИЕ БРОНИ ДЛЯ ДРОБИЛОК

Изнашиваемые детали для первичного, вторичного и третичного дробления

- Гиравационные дробилки
- Щековые дробилки
- Конусные дробилки

Обмен профессиональным опытом и постоянное сотрудничество между Институтом ТОМС и компанией KÖPPERN в работе по измельчению железорудного концентрата с помощью ВПВД

В марте текущего года коллеги-специалисты из Института ТОМС и компании KÖPPERN провели рабочее совещание по вопросам измельчения железорудного концентрата (ЖРК) с использованием установки валкового пресса высокого давления (ВПВД).

Институт ТОМС тесно сотрудничает с немецкой компанией-производителем ВПВД KÖPPERN с 2015 года, а также управляет испытательной установкой ВПВД для измельчения. Установка является уникальной и позволяет как ТОМС, так и KÖPPERN проводить испытания, развивать и совершенствовать новые технологии рудоподготовки, особенно на территории стран СНГ. В марте 2020 года инженеры ТОМС и KÖPPERN встретились в г. Иркутске и обменялись мнениями о возникающих задачах при измельчении железорудного концентрата с использованием ВПВД, а также выполнили серию совместных работ по испытанию железорудного концентрата.

В связи с мелким классом частиц и высокой массовой долей влаги железорудный концентрат создает определенные трудности для процесса измельчения с ВПВД. Использование ВПВД в измельчении железорудного концентрата – идеально подходящий вариант применения данной установки. Измельчение в установке ВПВД способствует повышению удельной поверхности, что ведет к большей однородности железорудного концентрата по сравнению с процессом измельчения в «классической» шаровой мельнице. Последующий процесс окомкования становится более равномерным. В результате происходит качественное улучшение окатышей при одновременном снижении удельной потребности в энергии для процесса окомкования.

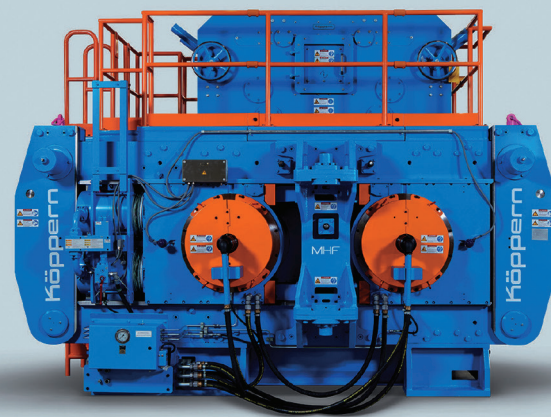
В ходе рабочего совещания и испытаний ТОМС и KÖPPERN провели обмен мнениями и опытом по измельчению и обогащению ЖРК, выработав строгие критерии испытаний по измельчению железорудного концентрата, включая требования к подготовке материалов и процедуре анализа. Все это призвано обеспечить стабильное качество тестирования и соответствие высоким стандартам обеих компаний, независимо от того, проводятся испытания в Германии или в России. Рабочее совещание способствовало дальнейшему укреплению сотрудничества обеих компаний и подтверждению их лидерских позиций в области передовых знаний технологии и поставки оборудования для железорудной промышленности в странах СНГ и в мире.

Заинтересовались? Обратитесь к экспертам по измельчению железорудного концентрата с ВПВД в Институте ТОМС (senchenko@tomsmineal.ru) либо в компанию KÖPPERN (contact@koepfern.de).



Слева направо: В. Киселев (ТОМС), А. Thamm (KÖPPERN), С. Пешкова (ТОМС), Dr. F. Heinicke (KÖPPERN), С. Федотов (ТОМС), И. Надежин (ТОМС).

Köppern



Измельчение Обслуживание Эффективность

Валковые прессы KÖPPERN успешно используются на предприятиях по всему миру, обеспечивая энергосберегающее измельчение под высоким давлением различных руд и минералов (таких как железная и медная руды, золото, молибден и алмазы), а также цементного клинкера, известняка и металлургических шлаков. Для измельчения абразивных материалов KÖPPERN предлагает валки с запатентованным высококачественным износостойким покрытием.

Köppern – немецкое качество.

- » Современные технологии
- » Инновационные технологические процессы
- » Высокая эксплуатационная готовность оборудования
- » Быстрая замена валков

Испытательные пилотные установки в Австралии, Канаде, Германии и России.

За дополнительной информацией, пожалуйста, обращайтесь contact@koepfern.de

Игорь Анатольевич Пустовалов

PhD, Директор Товарищества с ограниченной ответственностью «ЭСЦВМ»

ЭКСПЕРТНО-СЕРТИФИКАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ – ДЛЯ НАС НЕТ НИЧЕГО НЕВОЗМОЖНОГО



В этом мире существует множество примеров того, как человек, однажды выбрав свой путь, посвящает любимому делу всю свою жизнь. На этом принципе базируется и наша компания, в которой все сотрудники – это единый профессиональный организм, слаженное функционирование которого в предельно короткие сроки вывело ТОО «Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов» на лидирующую позицию в сфере научно-технического контроля «жизненного цикла» промышленных взрывчатых материалов и параметров взрывных работ.

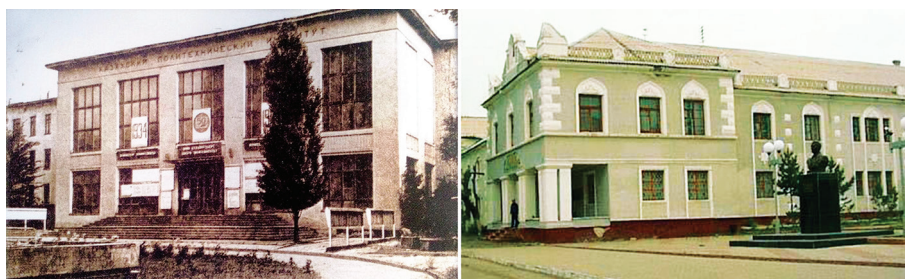
А началось все еще с 16 декабря 1991 года, когда Казахстан вышел из состава СССР и обрел независимость. Тогда основная часть крупнейших государственных институтов и технически оснащенных научно-производственных центров, чья деятельность была связана с осуществлением контроля качества и безопасности промышленных взрывчатых материалов, осталась за пределами нашего государства. Это такие крупные государственные организации бывшего СССР как Государственный Восточный научно-исследовательский институт по безопасности работ (ВостНИИ) и Государственный научно-исследовательский институт «Кристалл», которые и в настоящее время стоят на страже безопасности при производстве и использовании промышленных взрывчатых материалов на территории Российской Федерации.

Специалистами оставшихся на территории суверенного Казахстана профильных институтов (лабораторий) – бывшего Карагандинского отделения «ВостНИИ» (в последствии Казахский государственный научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности (КазНИИБГП)) и отраслевой лаборатории комплексной механизации взрывных работ Казахского политехнического института им. В.И. Ленина (в последствии филиал «Казахский государственный центр взрывных работ» РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (КГЦВР)) – были предприняты попытки по новой организовать, технически и кадрово обеспечить испытательные центры в целях дальнейшего проведения контроля безопасности и качества изготавливаемых и используемых в Казахстане промышленных взрывчатых материалов.

В итоге к 2014 году сложилась критическая ситуация, когда Казахстанский рынок был насыщен множеством опасных производственных объектов, где производятся, хранятся и используются взрывчатые материалы, качество и безопасность которых на территории нашей республики объективно оценить не представлялось возможным, в связи с тем, что до этого времени так и не удалось создать государственный технически-оснащенный испытательный центр, который был бы способен полноценно контролировать параметры безопасности и качества промышленных взрывчатых веществ, а КазНИИБГП и КГЦВР были в последствии упразднены.

Учитывая сложившуюся в Республике Казахстан ситуацию, связанную с отсутствием аккредитованных и технически укомплектованных испытательных центров, способных проводить научно-технические работы, сертификацию и инструментальный контроль взрывчатых веществ и изделий на их основе, 3 ноября в 2014 года, по результатам множественных решений межведомственных заседаний государственных уполномоченных органов Республики Казахстан был учрежден Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов (ТОО «ЭСЦВМ»).

Далее в кратчайшие сроки на базе ТОО «ЭСЦВМ» были созданы, технически и кадрово укомплектованы в последствии аккредитованные структурные подразделения.



**Казахстанские институты в области взрывного дела:
слева – КазПТИ им. Ленина; справа – КазНИИБГП**



**Рабочие моменты ТОО «ЭСЦВМ»: слева – в помещении
испытательного центра; справа – на испытательной площадке**



2014 год. *Экспертно-аналитический департамент промышленной безопасности* занимается вопросами промышленной безопасности взрывчатых материалов и технических устройств, безопасности ведения взрывных работ, безопасности опасных производственных объектов, на которых осуществляется производство и использование взрывчатых веществ и изделий на их основе.



2015 год. *Испытательная лаборатория взрывчатых материалов* проводит физико-химические испытания взрывчатых веществ и изделий на их основе, в том числе и сертификационные испытания, аккредитована в системе технического регулирования, имеет в структуре испытательный полигон и места для хранения образцов продукции класса 1.



2016 год. *Научно-технический департамент* сотрудничает с ведущими вузами Казахстана и зарубежья, занимается научно-техническими работами в области взрывного дела, взрывчатых материалов, безопасных методов их производства и использования, разработкой нормативной документации на взрывчатые вещества и изделия на их основе, а также эффективных методов испытаний, внедрением современных подходов в области промышленной безопасности, наращиванием научного потенциала РК в области взрывного дела и безопасного оборота взрывчатых материалов.



2017 год. *Орган по подтверждению соответствия взрывчатых веществ и изделий на их основе* аккредитован в системе технического регулирования и осуществляет обязательную сертификацию взрывчатых веществ и изделий на их основе на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза 028/2012 «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе».

За период становления специалистами ТОО «ЭСЦВМ» было выполнено множество научно-технических работ со взрывчатыми материалами, накоплен бесценный практический опыт в области взрывного дела, сформирована колоссальная база технической литературы, методических наработок, фото- и видеоматериала. Приобретены уникальное испытательное оборудование, приборы для инструментального контроля параметров взрывных работ, средства измерений. Разработаны и введены в действие методики поверки и аттестации испытательного оборудования. В каждом подразделении внедрена и действует система менеджмента качества. Налажено плодотворное сотрудничество с научными институтами, в том числе зарубежными, с производителями и потребителями взрывчатых материалов. Приобретен опыт качественной и оперативной реализации государственно значимых проектов без привлечения бюджетных средств. За короткий период нашей компанией уже осуществлены, а также находятся в процессе реализации инновационные проекты:

- в связи с расширением сферы деятельности и наращиванием технического потенциала, связанного с оснащением испытательной лаборатории современными приборами и программным обеспечением, в 2019 году по специальному проекту ТОО «ЭСЦВМ» построено новое помещение, в котором возможно проводить практически любые исследования взрывчатых материалов и их компонентов;
- на предприятиях республики массово осуществляется внедрение программного комплекса электронного учета и мониторинга взрывчатых материалов **I-mark**, который в настоящее время охватывает более 20 объектов;
- реализована программа **ВИА** по проведению на предприятиях-недропользователях комплексного контроля критериев безопасности и качества используемых взрывчатых материалов, а также инструментального контроля параметров буровзрывных работ;
- набирают обороты профессиональные тренинги и мастер-классы по повышению квалификации персонала – участников промышленного оборота взрывчатых материалов;



**Свежие идеи для
Вашей безопасности!**

- успешно опробовано практическое применение скрытой химической маркировки взрывчатых веществ **Sim-Qazaqstan**;
- совместно с Казахским Национальным университетом им. аль-Фараби реализуются значимые государственные научные проекты в области взрывного дела;
- для нужд Кинологического центра КФМ МФ РК разработаны и протестированы прототипы имитаторов промышленных взрывчатых веществ отечественного производства.

В настоящее время ТОО «ЭСЦВМ» является единственной профильной организацией на территории Республики Казахстан в сфере научно-технического контроля «жизненного цикла» промышленных взрывчатых материалов и параметров взрывных работ, а также одной из лучших частных компаний в данной области на территории ЕАЭС и стран СНГ.

**Залог успеха нашей компании заключается в том, что мы преобразуем энергию в работу,
а не тратим ее на слова !!!**

Код МРНТИ 36.16.39

А.Б. Гоипов¹, Ш.И. Ахмадов¹, Ж.Ж. Мовланов²¹Центр дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий (г. Ташкент, Узбекистан),²Государственное предприятие «Институт минеральных ресурсов» Государственного комитета Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам (г. Ташкент, Узбекистан)

ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН ГОР БУКАНТАУ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ В КОРОТКОВОЛНОВОМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

Аннотация. Определены минерализованные зоны на территории гор Букантау на основе обработки космических снимков в коротковолновом инфракрасном диапазоне. На площадях минерализованных зон проведены полевые заверочные работы и опробование (по канавам). Полученные предварительные результаты космогеологических исследований выделенного прогнозного участка Фазогир показали его перспективность на золотое оруденение. Составлены карты литологических разностей горных пород, минералов и их индикаторов, которые с учетом литологических факторов эндогенного оруденения позволяют выделить перспективные геолого-структурные позиции основных рудных полезных ископаемых на основе обработки мультиспектральных дистанционных снимков.

Ключевые слова: комплексные породы, географические информационные системы, дешифрирование космических снимков, перспективные площади, разломы, оруденение, прогнозирование, признаки.

Қысқа толқындық инфрақызыл диапазондағы спутниктік суреттерден Букантау тауларының минералданған аймақтарын зерттеу

Андатпа. Букантау тауларындағы минералданған аймақтар қысқа толқындардың инфрақызыл диапазонында спутниктіксуреттерді өңдеу негізінде анықталды. Далалық сертификаттау жұмыстары және сынақтар (арықтарда) минералданған аймақтардың аудандарында жүргізілді. Космогеологиялық зерттеулердің алдын-ала нәтижелері алынды. Бұл алтын минерализациясының перспективасы Фазогир фазасын анықтау үшін негіз болды. Эндогенді минералданудың литологиялық факторларын ескере отырып, көп ректорлы қашықтықтан зондаудың кескіндерін өңдеу негізінде негізгі кен минералдарының перспективті геологиялық және құрылымдық жағдайларын анықтауға мүмкіндік беретін тау жыныстырының минералдың литологиялық айырмашылықтарының карталары жасалды.

Түйінді сөздер: күрделі тұқымдылар, географиялық ақпараттық жүйелер, спутниктік суреттерді декодтау, болашақ бағыттар, қателіктер, минералдану, болжау, белгілер.

Study of the mineralized zones of the Bukantau mountains by cosmic images in the short-wave infrared range

Abstract. Mineralized zones in the Bukantau Mountains were determined based on processing satellite images in the short-wave infrared range. Field certification work and testing (in ditches) were carried out in the areas of mineralized zones. The preliminary results of cosmogeological studies were obtained. It was the basis for identifying the prospective phase Fazogir prospective for gold mineralization. Mapping lithological differences of rocks, minerals and their indicators, which, taking into account the lithological factors of endogenous mineralization, allow the identification of promising geological and structural positions of the main ore minerals based on the processing of multispectral remote images.

Key words: complex rocks, geographic information technologies, interpretation of satellite images, prospective areas, faults, mineralization, forecasting, signs, promising areas, mineralized zones.

Введение

Аэрокосмические методы относятся к дистанционным, поскольку информацию об исследуемом объекте получают на расстоянии. Отсчет эпохи дистанционных исследований начался с 1783 г., когда в г. Анноне (Франция) был осуществлен запуск первого аэростата. Интенсивное развитие дистанционные методы исследования получили в военных условиях в начале XX в.

Современный этап развития методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) характеризуется появлением нового поколения средств получения информации, компьютерных программ обработки аэрокосмических снимков и возможностью комплексного анализа пространственно координированных данных с помощью технологий географических информационных систем (ГИС)¹. Для технических средств ДЗЗ нового поколения характерно получать космоснимки в диапазонах электромагнитного спектра. За рубежом широко используются данные многоспектральных радиолокационных космических систем Landsat MSS (США), ADEOS (Япония), ERS (Европа) и других. Комплексная обработка космоснимков на основе

ГИС-технологии позволяет повысить глубинность и достоверность аэрокосмических исследований, получить новые данные по геологии, тектонике и природным ресурсам. Существует семь видов аэрокосмических съемок поверхности Земли, используемых в зависимости от цели и решаемых задач.

В геологии для картирования горных пород, минеральных зон, зон вторичных минеральных изменений широко используются материалы ДДЗ, полученные в мультиспектральном диапазоне (инфракрасная съемка). Например, авторы работы [1] на основе снимков ASTER (14-канальный многоспектральный прибор на борту усовершенствованного космического радиометра излучения и отражения TERRA) составили карту неизменных и гидротермально измененных пород округа Куприт (Невада, США). На основе дешифрирования мультиспектральных космоснимков составлена литологическая карта с зонами изменения минералов, с которыми связано золото Южной части Шоколадных гор (Калифорния, США) [2]. Космические мультиспектральные снимки использовались для картирования минеральных зон гидротермальных изменений, связанных

¹Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. – М.: Геокарт: ГЕОС, 2006. – 243 с.

с медно-порфировой и эпitherмальной золотой минерализацией [3]. В вулканическом поясе Уруме-Дохтар (Иран) проведено картирование пород, вмещающих порфировую медно-молибденовую минерализацию [4].

Обработка мультиспектральных космических снимков дает возможность эффективно картировать рудоносные толщи, минеральные гидротермальные изменения в них, определять литологические разнородные образования. В пределах гор Букантау космогеологические исследования были проведены с целью изучения зон минерализации на основе дешифрирования мультиспектральных дистанционных космоснимков, выполненных в коротковолновом инфракрасном диапазоне.

Методы исследования

Космогеологические исследования согласно нормативным документам проводятся в три этапа, первый из которых – подготовительные работы. На подготовительном этапе работ для дешифрирования материалов космических съемок проводится первичная обработка данных ДЗЗ всей территории исследований с применением программных продуктов (ERDAS IMAGINE, Geomatica PCI). Особенностью подготовительного этапа является предварительное дешифрирование цифровых материалов дистанционного зондирования.

Метод главных компонент – principal component analysis (PCA) – был разработан Карлом Пирсоном в 1901 г. и применяется во многих областях, в том числе при космогеологических исследованиях в качестве метода предварительной обработки.

При предварительном дешифрировании были применены алгоритмы автоматизированной обработки для усиления дешифровочных признаков. Одним из широко используемых в аэрокосмогеологических алгоритмах обработки космоснимков является алгоритм отношения спектральных каналов. Применяв алгоритм отношений яркости спектральных каналов, был получен положительный эффект для объектов, которые имеют максимальное яркостное отличие. Например, для отношения спектральных каналов 5 и 7: в спектральном канале 5 – максимальный коэффициент отражения минералов, а в 7 наблюдаются узкие полосы поглощения. Их отношение существенно больше единицы.

PCA и алгоритм классификации спектральных угловых карт (Spectral Angle Mapper Classification – SAM) при обработке спутниковых данных для определения минеральных изменений показали свою эффективность [5, 6]. Для изучения распределения минералов космические снимки обработаны методами ASTER (рис. 1).

Согласно методикам, приведенным в работах [6-8], первые три канала космических снимков LANDSAT-7 соответствуют известной минеральной композиции в определенном сочетании отношений каналов: красный (Red) b5/b7 – глинистые минералы; голубой (Blue) b5/b4 – железосодержащие минералы; зеленый (Green) b3/b1 – окись железа; совмещенный b5/b7, b3/b1, b4/b3 – гидротермальные композиты и т. д. Для картирования

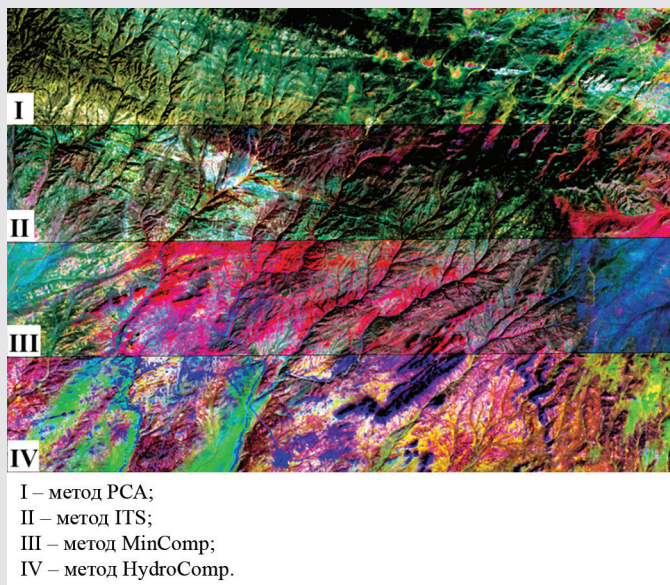


Рис. 1. Результаты обработки космических снимков ASTER в коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR).

Сурет 1. Қысқа толқындық инфрақызыл диапазонда спутниктік ASTER суреттерді өңдеу нәтижелері (SWIR).

Figure 1. Result of processing satellite images ASTER in the short-wave infrared range (SWIR).

вещественных комплексов используются оптимальные сочетания каналов R b5/b1, B b3/b1, G b5/b4.

В мультиспектральных космических изображениях ASTER по сравнению с изображениями Landsat больше спектральных каналов для определения минералов [1]. Три канала в диапазоне от 0,52 мкм до 0,86 мкм и шесть каналов от 1,60 мкм до 2,43 мкм с пространственным разрешением 15 м и 30 м были выбраны для проведения обработки космоснимков с целью определения распределения минералогических ассоциаций, связанных с оруденением на поверхности исследуемой территории.

Обсуждение результатов

В результате обработки космических снимков методом PCA определено, что в пределах исследуемой территории аномальная минеральная зона вторичных изменений связана с эндогенным оруденением. На рассматриваемом участке основным крупным рудным объектом является Кокпатасское рудное поле, объединяющее более 20 рудоносных участков, среди которых наиболее значимыми являются Южный-1, Ближний, Приконтактный. Участки относительно равномерно распределены по площади рудного поля², расстояние между ними не превышает 2-3 км.

По минерально-вещественному составу и технологическим свойствам на месторождении Кокпатас выделяются два типа руд: окисленные и сульфидные. Зона окисления на месторождении четкая, в зависимости от уровня грунтовых вод распространена на 35-60 м от поверхности. Здесь сульфиды и карбонаты замещены гидроокислами железа и частично выщелочены.

²Рудные месторождения Узбекистана. – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001.

Содержание гидроокислов железа достигает 5,2%, представлены они гетитом, гидрогетитом, ярозитом, скородитом, питтитом, псиломеланом. Очень характерны для зоны окисления гидрослюды, каолинит². В данном случае для определения каолинита необходимо применить методы, приведенные в работах [2, 9]. Показано, что применение космических снимков эффективно для получения изображений концентраций гематита, гетита, кальцита-хлорита, мусковита-серицита-каолинита и кремнезема, связанных с минерализацией золота в гидротермально измененных породах [9]. Определение четырех подпочвенных минералов (алунита, каолинита, мусковита и монтмориллонита) функцией отражательной способности приведено в работе [2]. С помощью этого метода проведена обработка материалов космических снимков и получены данные распределения минералов каолинита по территории исследования (рис. 2).

ASTER является первым мультиспектральным космическим сенсором, который позволяет распознавать и идентифицировать гидротермальные изменения зон минерализации в коротковолновом инфракрасном (SWIR) диапазоне электромагнитного спектра [10].

Зона плотного размещения минералов каолинита на поверхности Земли соответствует площадям проявления золоторудной минерализации вдоль Букантау-Кокпатас-Окжетпесского тренда.

Обработка космических снимков осуществлялась с использованием электронной спектральной библиотеки минералов и горных пород ASTER USGS и JPL. Различия в спектральной отражательной способности девяти каналов видимого и ближнего инфракрасного излучения через коротковолновое инфракрасное излучение (от 0,52 мкм до 2,43 мкм) космоснимка могут предоставить спектральную информацию для различения гидротермального изменения минеральных зон [1].

Вторым этапом космогеологических исследований является полевое дешифрирование или полевые заверочные работы, проведенные на территории Букантау путем маршрутных наблюдений, являющихся основным методом в проведении данных работ. Целью заверочного дешифрирования является уточнение распределения ореолов аномальных зон и подтверждение выделенных космогеологических (линейных и полигональных) объектов. На площадях аномальных зон проведены полевые заверочные работы, а также детальная документация точек наблюдения и опробования (по канавам). Результаты лабораторных анализов проб показали содержание золота до 3,0 г/т. Получены предварительные

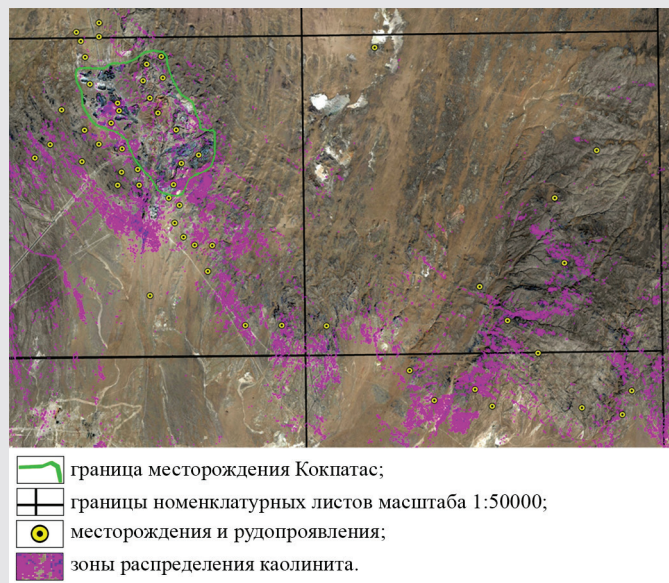


Рис. 2. Распределение минералов каолинита по территории исследования.

Сурет 1. Каолинит минералдарының зерттеу аймағына таралуы.

Figure 1. Distribution of kaolinite minerals in the study area.

результаты космогеологических исследований, которые стали основой для выделения прогнозного участка Фазогир, перспективного на золотое оруденение.

Заключение

Поиски зон минерализации и оруденения через обработку материалов ДЗЗ без привлечения геологической информации – трудоемкая и малоэффективная работа. По нашему мнению, в настоящее время основной целью ДЗЗ на этапе прогнозно-поисковых работ является поиск и изучение признаков космогеологических объектов и их взаимоотношения с геологической обстановкой и физическим состоянием исследуемой площади.

Выделенные ореолы аномальных зон на исследуемой территории соответствуют геохимическим ореолам регионального масштаба. Космогеологические исследования необходимо проводить в масштабе от 1:200000 до 1:50000. Для решения задач детальных геологических исследований в масштабе от 1:25000 до 1:5000 необходимо использовать космические снимки высокого разрешения в мультиспектральном диапазоне или гиперспектральной визуализации, которые помогут идентифицировать отдельные виды железных и глинистых минералов, зоны гидротермальных изменений [7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Rowan L.C., Hook S.J., Abrams M., Mars J.C. Картирование гидротермально измененных пород в Куприте, штат Невада, с использованием усовершенствованного космического радиометра для измерения теплового излучения и отражения (ASTER), новой системы спутниковой съемки. // *Экологическая геология*. – 2003. – Т. 98. – №5. – С. 1019-1027. (на английском языке)
2. Zhang X., Pazner M. & Duke N. Получение литологической и минеральной информации для разведки золота с использованием данных АСТЕР на юге Шоколадных гор (Калифорния). // *ISPRS Журнал фотограмметрии и дистанционного зондирования*. – 2007. – Т. 62. – №4. – С. 271-282. (на английском языке)

3. Pour A.V., Hashim M. Применение данных дистанционного зондирования АСТЕР для месторождений медных порфиров и эпитермальных месторождений золота. // *Обзоры рудной геологии.* – 2012. – №44. – С. 1-9. (на английском языке)
4. Sabbaghi H., Moradzadeh A., Haroni H.A. Спектральный анализ АСТЕР для вмещающей породы, связанной с порфировой медно-молибденовой минерализацией. // *Геология Македонии.* – 2017. – Т. 31. – №1. – С. 49-65. (на английском языке)
5. Liu L., Zhou J., Yin F., Feng M., Zhang, B. Разведка минеральных ресурсов с помощью обработки изображений на основе данных АСТЕР, интерпретации и наземного осмотра в районе Цзяфушаерсу, Западная Джунгария, Китай. // *Журнал наук о Земле.* – 2014. – Т. 25. – №2. – С. 397-406. (на английском языке)
6. Mahboob M.A., Genc B., Celik T., Ali S. and Atif I. Картирование гидротермальных минералов с использованием данных спектроскопии отраженного спектра дистанционного зондирования Landsat. // *Журнал Южноафриканского института горного дела и металлургии.* – 2019. – Т. 119. – С. 279-289. (на английском языке)
7. Sabins F.F. Дистанционное зондирование для разведки полезных ископаемых. // *Рудная геология. Обзор.* – 1999. – №14. – С. 157-183. (на английском языке)
8. Safari M., Pour A.V., Maghsoudi A. and Hashim M. Ориентация гидротермальных изменений с использованием данных LANDSAT-8 и ASTER в Шахр-э-Бабак, Иран. // *Международный архив фотограмметрии, дистанционного зондирования и наук о пространственной информации.* – 2017. – Вып. XLII-4/W5. – С. 153-157. (на английском языке)
9. Crosta A., De Souza Filho C., Azevedo F. & Brodie C. Определение ключевых минералов изменения в эпитермальных отложениях в Патагонии, Аргентина, с использованием изображений АСТЕР и анализа основных компонентов. // *Международный журнал дистанционного зондирования.* – 2003 – Т. 24. – №21. – С. 4233-4240. (на английском языке)
10. Abrams M., Hook S.J. Имитация данных АСТЕР для геологических исследований. // *IEEE Trans. Геонауки дистанционного зондирования.* – 1995. – Т. 33. – №3. – С. 692-699. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Rowan L.C., Hook S.J., Abrams M., Mars J.C. Коспитте, Невада штатында гидротермиялық өзгерген тау жыныстарын кеңейтілген гарыштық жылу шығарылымы мен шағылысу радиометрін (ASTER), жаңа спутниктік-бейнелеу жүйесін қолдана отырып картаға түсіру. // *Экологиялық геология.* – 2003. – Т. 98. – №5. – Б. 1019-1027. (ағылшын тілінде)
2. Zhang X., Pazner M. & Duke N. Шоколад тауларының оңтүстігінде (Калифорния) ASTER мәліметтерін қолдана отырып алтынды іздеуге арналған литологиялық және минералды ақпараттар. // *Фотограмметрия және қашықтан зондтаудың ISPRS журналы.* – 2007. – Т. 62. – №4. – Б. 271-282. (ағылшын тілінде)
3. Pour A.V., Hashim M. Мыс порфирі мен эпитермалды алтын кен орындары үшін ASTER қашықтықтан зондтау мәліметтерін қолдану. // *Кен геологиясына шолу.* – 2012. – №44. – Б. 1-9. (ағылшын тілінде)
4. Sabbaghi H., Moradzadeh A., Haroni H.A. Порфирлі мыс-молибденнің минералдануына байланысты негізгі жынысқа арналған ASTER спектрлік анализі. // *Македония геологиясы.* – 2017. – Т. 31. – №1. – Б. 49-65. (ағылшын тілінде)
5. Liu L., Zhou J., Yin F., Feng M., Zhang B. ASTER деректері негізінде кескінді өңдеу, минералды ресурстарды қайта өңдеу, Джиафушаэрсу аймағында аударма және жер инспекциясы Жоңғар, Қытай. // *Жер туралы ғылым журналы.* – 2014. – Т. 25. – №2. – Б. 397-406. (ағылшын тілінде)
6. Mahboob M.A., Genc B., Celik T., Ali S. and Atif I. Ландсаттан қашықтан сезілетін шағылысқан спектроскопия мәліметтерін қолдана отырып гидротермальды минералдардың картасы. Оңтүстік Африка тау-кен металлургия институтының журналы. – 2019. – Т. 119. – Б. 279-289. (ағылшын тілінде)
7. Sabins F.F. Пайдалы қазбаларды барлау үшін қашықтықтан зондтау. // *Руда геологиясы. Шолу.* – 1999. – №14. – Б. 157-183. (ағылшын тілінде)
8. Safari M., Pour A.V., Maghsoudi A. and Hashim M. LANDSAT-8 және ASTER деректерін пайдаланып, Шахр-е-бабактағы, Ирандағы гидротермиялық түзетулер. // *Халықаралық фотограмметрия мұрағаты, қашықтықтан зондтау және кеңістіктік ақпарат туралы ғылым.* – 2017. – Шығ. XLII-4/W5. – Б. 153-157. (ағылшын тілінде)

9. Crosta A., De Souza Filho C., Azevedo F. & Brodie C. ASTER кескінін және негізгі компоненттік талдауды пайдалана отырып, Патагония, Аргентинадағы эпитемальды кен орындарындағы минералды кілттердің өзгеруі. // Халықаралық қашықтықтан зондтау журналы. – 2003 – Т. 24. – №21. – Б. 4233-4240. (ағылшын тілінде)
10. Abrams M., Hook S.J. Геологиялық зерттеулерге арналған ASTER модельдеу мәліметтері. // IEEE Trans. Геосанитарлық қашықтықтан зондтау. – 1995. – Т. 33. – №3. – Б. 692-699. (ағылшын тілінде)

REFERENCE

1. Rowan L.C., Hook S.J., Abrams M., Mars J.C. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. // *Ecol. Geol.*, – 2003. – Т. 98. – №5. – P. 1019-1027. (in English)
2. Zhang X., Pazner M. & Duke N. Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2007. – Vol. 62. – №4. – P. 271-282. (in English)
3. Pour A.B., Hashim M. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. // *Ore Geology Reviews*. – 2012. – №44. – P. 1-9. (in English)
4. Sabbaghi H., Moradzadeh A., Haroni H.A. ASTER spectral analysis for host rock associated with porphyry copper-molybdenum mineralization. // *Geologica Macedonica*. – 2017. – Vol. 31. – №1. – P. 49-65. (in English)
5. Liu L., Zhou J., Yin F., Feng M., Zhang B. The Reconnaissance of Mineral Resources through ASTER Data-Based Image Processing, Interpreting and Ground Inspection in the Jiafushaersu Area, West Junggar, China. // *Journal of Earth Science*. – 2014. – Vol. 25. – №2. – P. 397-406. (in English)
6. Mahboob M.A., Genc B., Celik T., Ali S. and Atif I. Mapping hydrothermal minerals using remotely sensed reflectance spectroscopy data from Landsat. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2019. – Vol. 119. – P. 279-289. (in English)
7. Sabins F.F. Remote sensing for mineral exploration. // *Ore Geol. Rev.* – 1999. – №14. – P. 157-183. (in English)
8. Safari M., Pour A.B., Maghsoudi A. and Hashim M. Targeting hydrothermal alterations utilizing LANDSAT-8 and ASTER data in Shahr-e-babak, Iran. *The International Archives of the Photogrammetry*. // *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2017. – Vol. XLII-4/W5. – P. 153-157. (in English)
9. Crosta A., De Souza Filho C., Azevedo F. & Brodie C. Target in key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 24. – №21. – P. 4233-4240. (in English)
10. Abrams M., Hook S.J., Simulated ASTER data for geologic studies. // *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*. – 1995. – Vol. 33. – Issue 3. – P. 692-699. (in English)

Сведения об авторах:

Гоипов А.Б., доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, ведущий геолог Центра дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий (г. Ташкент, Узбекистан), goipov9700@mail.ru

Ахмадов Ш.И., заведующий Центром дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий (г. Ташкент, Узбекистан), shokirbekaxmadov@gmail.com

Мовланов Ж.Ж., доктор философии (PhD) по геолого-минералогическим наукам, начальник отдела Государственного предприятия «Институт минеральных ресурсов» Государственного комитета Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам (г. Ташкент, Узбекистан), jahongir79@mail.ru

Авторлар туралы мәлімет:

Гоипов А.Б., геология-минералогия ғылымдары бойынша философия докторы (PhD), Жерді қашықтықтан зондау және ГАЖ технологиясының Орталығы жетекші геологы (Ташкент қ., Өзбекстан), goipov9700@mail.ru

Ахмадов Ш.И., Жерді қашықтықтан зондау және ГАЖ технологиясының Орталығы меңгеруші (Ташкент қ., Өзбекстан), shokirbekaxmadov@gmail.com

Мовланов Ж.Ж., геология-минералогия ғылымдары бойынша философия докторы (PhD), Өзбекстан Республикасының Геология және минералдық ресурстар жөніндегі мемлекеттік комитетінің «Минералдық ресурстар институты» мемлекеттік кәсіпорнының бөлім бастығы (Ташкент қ., Өзбекстан), jahongir79@mail.ru

Information about the authors:

Goipov A.B., Doctor of Philosophy (PhD) in Geological and Mineralogical Sciences, Leading Geologist at the Center for Remote Sensing of the Earth and GIS Technologies (Tashkent, Uzbekistan), goipov9700@mail.ru

Akhmadov Sh.I., Head of the Center for Remote Sensing of the Earth and GIS Technologies (Tashkent, Uzbekistan), shokirbekaxmadov@gmail.com

Movlanov Zh.Zh., Doctor of Philosophy (PhD) in Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department of the State Enterprise «Institute of Mineral Resources» of the State Committee for Geology of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan), jahongir79@mail.ru

Авторы выражают благодарность М.К. Турапову, сотрудникам факультета геолого-минералогических наук за помощь в написании данной статьи и ценные комментарии.

Код МРНТИ 36.16.39

Г.А. Аймбетова, Н.Ю. Цычуева

Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ОПТИЧЕСКИМ СНИМКАМ СЕНТИНЕЛ-2 И ИНДЕКСУ NDVI

Аннотация. Оползни являются разрушительным процессом, уничтожающим все на своем пути. Благодаря дистанционному зондированию Земли, появилось много инструментов и методов для изучения оползнеопасных территорий до схода оползней. Один из этих методов основан на прогнозировании оползней путем отслеживания изменения растительного покрова на оползнеопасных территориях. Этот метод стал возможным, благодаря оптическим снимкам со спутников, по которым рассчитывается индекс NDVI. Временные ряды по этим снимкам дают информацию по изменениям в растительном покрове. Благодаря спутниковым снимкам открытого доступа, этот метод стал еще и самым доступным. При правильном выборе методов обработки данных можно получить информацию о катастрофе задолго до ее проявления и предпринять защитные меры.

Ключевые слова: оползень, дистанционное зондирование Земли, спутники Сентинел-2, растительный покров, индекс NDVI, временной ряд снимков, прогнозирование.

Сентинел-2 жерсеріктерінің суреттері мен NDVI индексі арқылы жер көшкіні үрдісін алдын ала болжау мүмкіндігі

Аңдатпа. Жер көшкіні – оның жолындағы барлық нәрсені жоятын жойқын үрдіс. Жерді қашықтықтан зондтаудың арқасында қауіпті аймақтардың көшкінін олар пайда болғанға дейін зерттеу үшін көптеген құралдар мен әдістер пайда болды. Осындай әдістердің бірі көшкін қауіпі бар жерлердегі өсімдік жамылғысының өзгерісін бақылау арқылы жер көшкінін болжау әдісі болып табылады. Бұл әдіс NDVI индексі есептелетін оптикалық жерсеріктік суреттердің арқасында мүмкін болды. Бұл суреттердің уақыттық тізгіні өсімдік жамылғысының өзгеруі туралы нақты ақпарат береді. Жерсеріктік суреттердің тегін болуы арқасында бұл әдіс ең қол жетімді болып тұр. Осы деректерді өңдеу әдістерін дұрыс таңдай отырып, жер көшкіні туралы алдын ала ақпарат алуға және қорғаныс шараларын қолдануға мүмкіндік туды.

Түйінді сөздер: Жер көшкіні, жерді қашықтықтан зондтау, Сентинел-2 жерсеріктері, өсімдік жамылғысы, NDVI индексі, уақыттық суреттер тізгіні, болжау.

Forecasting landslide processes with Sentinel-2 datas and NDVI index.

Abstract. Landslides are a destructive process that destroy everything in its way. Although this phenomenon is difficult to accurately classify and predict, there are now many opportunities for their study and monitoring. Thanks to the remote sensing many tools and methods have appeared to study the landslide of dangerous territories before they move. One of these methods is the landslide prediction method by tracking changes in vegetation cover on landslide in hazardous areas. This method was made possible thanks to optical satellite images from which the NDVI index is calculated. The time series for these images provide information on changes in vegetation cover. Thanks to satellite images of open access, this method has also become the most affordable. With the right choice of processing methods for this data, you can get information about the disaster long before the landslide and take preventive actions.

Key words: landslide, remote sensing of the Earth, Sentinel-2 satellites, vegetation cover, NDVI index, time series of images, RGB composites, slope stability, monitoring, forecasting.

Введение

Оползни могут быть вызваны изменениями в естественной окружающей среде или в результате деятельности человека. Землетрясения, вулканическая активность, сильные дожди и изменение уровня грунтовых вод являются типичными естественными механизмами запуска оползней, которые усиливают естественную слабость горных пород или почвы. Оползни могут привести к серьезным негативным последствиям, в том числе человеческим жертвам, материальным потерям и ухудшению состояния окружающей среды. Следовательно, поддержание устойчивости склонов является критическим аспектом любых геодезическо-инженерных работ.

Материалы и методы исследования

Как известно, оползнем называется скользящее смещение горных пород, слагающих склон, вследствие механического разрушения или течение пород склона и его основания без потери контакта между смещающейся и неподвижной частью массива. В строении оползней различаются следующие основные элементы: стенка отрыва оползня, поверхность скольжения, подошва оползня или базис, оползневой цирк, оползневое тело и оползневые накопления (рис. 1) [1].

Стенка отрыва представляет собой поверхность, по которой оползень отделился от массива пород. Поверхностью скольжения называется плоскость, по которой происходит смещение блока пород. Подошвой или базисом оползания называется линия пересечения поверхности скольжения с поверхностью склона. Оползневым телом называется массив оползших пород: в нем выделяют голову – самую верхнюю часть оползня и язык – самую нижнюю часть. Под оползневой цирком понимают выемку, образовавшуюся на склоне в результате оползания. Дугообразная линия, которой оползневой цирк ограничивается со стороны склона, называется бровкой или линией срыва^{1,2} [1].

Всякое оползневое смещение масс горных пород происходит под воздействием силы тяжести и возможно только тогда, когда сдвигающая составляющая силы тяжести превысит прочность пород в целом, либо по поверхностям или зонам ослабления. В этом случае будет нарушена устойчивость – предельное равновесие масс горных пород:

$$\Sigma T = fN + \Sigma C L, \quad (1)$$

где ΣT – суммарная составляющая силы тяжести P , стремящаяся сместить массы горных пород по склону или откосу;

¹Молоков Л.А. Инженерно-геологические процессы. – М.: – Недра, 1985. – 35 с.

²Ананьев В.П. Инженерная геология. – М.: Недра, 2002. – 48 с.

ΣN – суммарная составляющая силы тяжести P , ориентированная перпендикулярно к существующей или предполагаемой поверхности скольжения, стремящаяся удержать массы горных пород в равновесии;

f – коэффициент внутреннего трения пород по поверхности или в зоне ослабления;

C – силы сцепления пород по поверхности или в зоне ослабления;

L – длина существующей или предполагаемой поверхности скольжения.

Когда такое равновесие будет нарушено, начнется медленное или быстрое смещение горных пород. В этом случае коэффициент их устойчивости будет меньше единицы, т. е.

$$I > \eta = f \Sigma N + CL / \Sigma T, \quad (2)$$

где η – коэффициент устойчивости, равный отношению суммарного сопротивления сдвигу пород по существующей или предполагаемой поверхности скольжения к сумме сдвигающих усилий вдоль этой поверхности^{3,4} [2].

Причинами образования оползней наиболее часто являются следующие:

- увеличение крутизны склона или откоса при их подрезке, подработке или подмыве, а также при придании откосам большой крутизны;

- ослабление прочности пород вследствие изменения их физического состояния при увлажнении, набухании, разуплотнении, выветривании, нарушении естественного сложения, а также в связи с развитием в породах явлений ползучести;

- действие гидростатических и гидродинамических сил на породы, вызывающее развитие фильтрационных деформаций (суффозию, выпор, переход в пльвинное состояние и другие);

- изменение напряженного состояния горных пород в зоне формирования склона и строительства откоса;

- внешние воздействия – загрузка склона или откоса, а также участков, прилегающих к их бровкам, микросейсмические и сейсмические колебания и другие.

Каждая из перечисленных причин в отдельности может вызвать нарушение равновесия масс горных пород на склонах и откосах, но наиболее часто это наблюдается при их совместном влиянии [2].

Для возникновения и развития оползней необходимы определенные условия. Среди них наибольшее значение для склонов имеют: высота, крутизна

и форма, климатические условия, геологическое строение, свойства пород, гидрогеологические условия. Большое влияние на развитие оползневых процессов оказывает геологическое строение и литологический состав пород склона. Подавляющее большинство оползней приурочено к выходам подземных вод [2].

Контроль поверхности смещения склона может дать ценную информацию о динамике оползневого явления. Величина, скорость и ускорение перемещений может обеспечить показатель стабильности склона. Эти движения, если обнаружены достаточно рано, могут указывать на надвигающуюся катастрофическую массу склона. Стратегия снижения опасности оползней включает в себя ряд мероприятий, таких как картирование и оценка опасностей, системы мониторинга и оповещения в реальном времени для активных оползней, защитные инженерные мероприятия, развитие общественной осведомленности и чрезвычайных ситуаций планирования [3].

Мониторинг деформации конструкций и смещения поверхности земли во время оползней может проводиться с помощью различных инструментов и методов.

1. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) с использованием космической информации имеет значительный потенциал для оценки опасности оползней и лучшего понимания оползневых процессов.

2. Фотограмметрические методы могут быть эффективным инструментом для мониторинга активно движущихся оползней и анализа их скоростей. Эти методы позволяют определить перемещение земных поверхностей в течение длительных периодов времени, сравнимая соответствующие наборы фотографий.

3. Наземные геодезические методы используют множество инструментов и методов измерения для расчета абсолютного смещения. Они обычно используются в комплексе с эпизодическими программами мониторинга. В некоторых случаях геодезические датчики ставятся на контрольные точки, выполняют периодические измерения и анализируют динамику.

4. Спутниковые геодезические методы используют глобальную систему позиционирования (GPS). Есть множество видов GPS, которые могут гарантировать высокую точность, постоянные и надежные результаты.

Выбор инструментов и методов измерения или создания определенной системы мониторинга зависит от особенностей видов деформации, которые будут влиять на метод анализа устойчивости склонов и, следовательно, на всю работу по мониторингу деформации [4].

Из перечисленных методов в настоящее время особое место занимает ДЗЗ в виде спутниковых снимков. Оптические спутниковые снимки с высоким пространственным разрешением используются для создания инвентаризационных карт оползней и выявления картографических факторов, связанных с появлением оползней, таких как морфология поверхности, структурные и литологические свойства, растительный покров и временные изменения этих факторов [5].



1 – подошва или базис оползня; 2 – язык оползня;
3 – оползневые блоки; 4 – стенка срыва; 5 – голова (вершина) оползня;
6 – бровка срыва; 7 – оползневые ступени; 8 – оползневые трещины;
9 – поверхность (зона) скольжения

Рис. 1. Морфологические элементы оползня.
Сурет 1. Көшкіннің морфологиялық элементтері.
Figure 1. Morphological elements of the landslide.

³Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 13 с.

⁴Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977. – 56 с.

Растительный покров играет важную роль в возникновении оползней в горной среде. Большое влияние на изменение водного баланса оползневых участков оказывает травяная, кустарниковая и древесная растительность. Она способствует регулированию поверхностного стока, сдерживает инфильтрацию дождевых и талых вод, благоприятствует значительному осушению горных пород, благодаря транспирации. Кроме того, растительный покров предохраняет их от глубокого промерзания, механически закрепляет их корневой системой на оползневом участке и защищает от размыва и смыва дождевыми и талыми водами. Значение всех этих факторов трудно переоценить [2].

Как показывают специальные наблюдения, во время интенсивных и продолжительных дождей в хвойных лесах на деревьях задерживается до 68% осадков, а на лиственных – не менее 30%. При слабых дождях на листве и хвое деревьев задерживается до 100% осадков. Кустарниковая и древесная растительность задерживает интенсивное таяние снега, тем самым регулируя подток талых вод к оползневому участку. Растительность утепляет поверхность земли, препятствует глубокому зимнему промерзанию горных пород, сдерживает миграцию влаги к зоне промерзания и ее переувлажнение. Растительный покров способствует интенсивному испарению влаги и этим также оказывает регулирующее влияние на водный баланс местности [2].

Непрерывные изменения растительного покрова меняют гидрогеоморфные характеристики почвы, то есть изменения в растительном покрове могут привести к изменениям поверхностного стока, давления подводных стоков, уменьшению сцепления почвы склона, эрозии почвы, которые в последствии и приводят к оползням. Для выявления таких факторов, как изменения в растительном покрове, в настоящее время немаловажную роль играют оптические спутниковые снимки [6].

Индекс NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) является очень важным инструментом для расчета состава и изменения растительного покрова. В настоящее время существуют многочисленные спутники с закрытым доступом, создающие оптические снимки Земли с высоким разрешением, с которых можно получить хорошие данные NDVI. Но они являются очень дорогостоящими. Оптические спутники открытого доступа, такие как Сентинел-2, с пространственным разрешением изображения от среднего до высокого были менее изучены для выявления смещения склонов до оползня.

Сентинел-2 – спутниковая группа Европейского космического агентства для мониторинга поверхности Земли – имеет два одинаковых полярно орбитальных спутника: Сентинел-2А и 2Б. Сентинел-2А был запущен 23.06.2015 г., Сентинел-2В – 07.03.2017 г. Оба Сентинел-2 спутника имеют пространственное разрешение 10 м в ближнем инфракрасном, красном, зеленом и синем каналах. Периодичность снимков созвездия Сентинел-2 – пять дней, снимки доступны пользователям в открытом доступе. Преимущество оптических изображений ДЗЗ в том, что они имеют

больше спектральной информации и очень чувствительны к имеющим место нарушениям растительности, вызванным оползневой активностью. В последнее время данные Сентинел-2 часто используют для исследования природных катастроф, таких как наводнения, лесные пожары и т. д., но его потенциальное использование в исследовании региональной оползневой опасности было менее изучено [3].

Как уже отмечалось, созвездие Сентинел-2 имеет гораздо более высокое пространственное разрешение (10 м на нескольких каналах) и более частую периодичность (5 дней), чем ранее запущенные открытые спутники Landsat с 16-дневным интервалом и 30-метровым разрешением снимков [7].

Для выявления потенциальных оползнеопасных участков необходимо рассчитать временной ряд индекса NDVI для всех изображений Сентинел-2 по формуле:

$$NDVI = (B_8 - B_4) / (B_8 + B_4), \quad (3)$$

где B_8, B_4 – коэффициент отражения ближних инфракрасных и красных каналов.

Этот расчет приведен в работе китайских ученых, в которой была сделана попытка разработки простого, но эффективного метода использования временного ряда всех доступных изображений Сентинел-2 для обнаружения наклона движения в течение длительного срока. Объектом исследования стал сошедший 10.10.2018 г. на западном берегу р. Янцзы (Цзиньша) крупный оползень. Авторы работали с 25 снимками спутников Сентинел-2 Уровня-1С с 13.11.2015 г. по 09.08.2018 г., из них три изображения 2015 г., пять – 2016 г., одиннадцать – 2017 г. и шесть – 2018 г. На этом уровне многовременные изображения были зарегистрированы лучше, чем на остальных. Эти изображения покрывают площадь в 5,88 км² (1,76 км × 3,34 км), полностью включают оползень, без облаков, по крайней мере, для оползневой поверхности. Были использованы только снимки временных рядов до схода оползня. Чтобы обнаружить наклон движения, были выполнены три процедуры. Во-первых, рассчитан NDVI по каждому временному ряду по телу оползня; во-вторых, NDVI был рассчитан для порогов, чтобы извлечь откосы оползня. Обнаруженные оползневые откосы от двух изображений Сентинел-2 были сравнены. В итоге движение склона было проанализировано с использованием обнаруженных оползневых рубцов и временных рядов NDVI [5].

На следующем этапе исследования NDVI изображения были сложены для формирования временных рядов NDVI с 25 слоями в хронологическом порядке с использованием модуля последовательности слоев в программном обеспечении ENVI версии 5.1. Затем потенциально оползневые откосы были классифицированы. Для каждого изображения были рассчитаны средние значения NDVI путем усреднения значений NDVI в этом классе потенциальных откосов оползня. Средние NDVI были использованы в качестве порогов для извлечения оползневых рубцов в каждом изображении [7].

Результаты

Чтобы обнаружить движение склона, были проанализированы откосы от оползней и временные ряды

NDVI. Используя пороги оползневой рубца, извлекли откосы от оползня на каждом изображении Сентинел-2. Изображения оползня были сгруппированы на три периода (2015-2016 г., 2017 г. и 2018 г.) и посчитано время каждого пикселя, обнаруженного как откос оползня в этом периоде. Подсчет был нормализован до диапазона 0 ~ 1, деленного на общее количество изображений в соответствующие периоды. Тогда стало возможным получение трех изображений в процентах от количества рубцов и представление трех изображений в RGB-композиции для иллюстрации движения склона. На основе RGB-компоновки временные ряды NDVI на оползне были дополнительно проанализированы. Чтобы использовать динамику растительности для указания наклона движения до оползня, из этих 25 снимков размером больше 0,3 пикселя использовали только максимум NDVI и установили правило:

если

$$\text{макс}(NDVI_{2016}) > \text{макс}(NDVI_{2017}) > \text{макс}(NDVI_{2018}), \quad (4)$$

или

$$\text{макс}(NDVI_{2016}) < \text{макс}(NDVI_{2017}) < \text{макс}(NDVI_{2018}), \quad (5)$$

тогда:

$$NDVI_{\text{измен}} = \text{макс}(NDVI_{2016}) - \text{макс}(NDVI_{2018}), \quad (6)$$

где $NDVI_{2016}$, $NDVI_{2017}$ и $NDVI_{2018}$ являются значениями NDVI, определенными пикселями в 2016, 2017 и 2018 гг.

Используя уравнения (4-6), рассчитывается разница в годовом максимуме NDVI между 2016 г. и 2018 г. для пикселей с монотонными изменениями уменьшения/увеличения. Монотонное снижение годового максимума NDVI в уравнении (5) может использоваться для обозначения угнетенной растительности на склоне, непрерывного оползневой расширения, в то время как монотонное увеличение в уравнении (6) может быть использовано, чтобы показать начало оползня с растительностью, который двигается вниз по склону, заменяя оползневое тело без растительности на данное местоположение. Также были количественно оценены изменения NDVI весной, летом и в зимние сезоны, которые указывают на движение склона в разные времена года [7].

В результате классификации временных рядов NDVI были получены 5 классов пикселей (рис. 2), но изображения вокруг оползня содержали только три основных

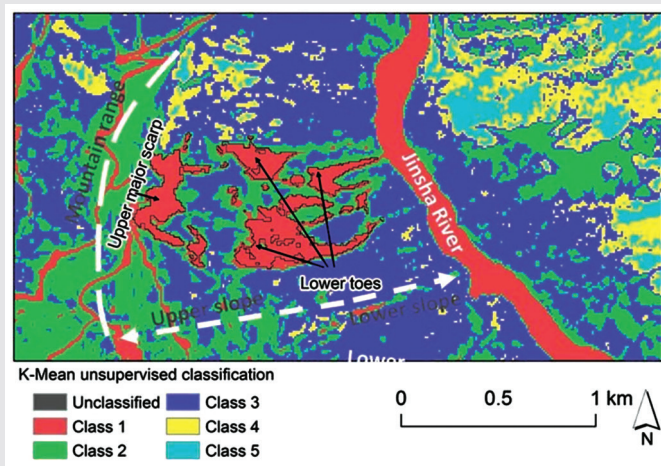


Рис. 2. Полученная классификация на основе композитов временных рядов индексов NDVI вокруг оползня близ реки Янцзы.

Сурет 2. Янцзы өзені жанындағы көшкінің NDVI өсімдік жамылғысы индексі негізінде уақыт реті бойынша құрылған композитінен классқа жіктелуі.

Figure 2. The obtained classification on the basis of composites of time series of NDVI indices of landslide located around the Jinsha River.

класса: постоянное оголение, растительность отсутствует (класс 1, красные пиксели), класс со средней растительностью (класс 2, зеленые пиксели) и класс с хорошей растительностью (класс 3, синие пиксели).

Закключение

Анализ изображений Сентинел-2 с помощью индекса растительности на территории, подверженной воздействию активных оползней, показывает, что эти открытые и глобальные спутниковые снимки, благодаря их частой периодичности, могут выявить движение крупных оползней намного раньше их схода. Это обнаружение, однако, ограничивается большими оползнями из-за среднего разрешения этих спутников. Но все же оптические спутники среднего разрешения Сентинел-2 открывают широкие возможности в исследовании и понимании оползневой механизма, для развития раннего прогнозирования и мониторинга катастрофы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чалкова Ю.С., Черепанов Б.М. Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними. // Ползуновский вестник. – 2007. – №1-2. – С. 80-89. (на русском языке)
2. Нечипорова Т.П. Оползневые процессы. // Методическое руководство по курсу «Геоморфология» для студентов дневного и заочного отделений специальностей «География» и «Геоэкология». – Ростов-на-Дону, 2007. – С. 28-29. (на русском языке)
3. Savvaidis P.D. Существующие системы и методы мониторинга оползней. // Школа сельского и геодезического проектирования «От звезд к земле и культуре в честь памяти профессора Александроса Цюмиса». – Салоники: Университет Аристотеля. – 2003. – С. 242-258. (на английском языке)
4. Lacroix P., Bièvre G., Pathiera E., Kniess U., Jongmans D. Использование изображений Сентинел-2 для обнаружения ранних движений перед оползневыми отказами. // Дистанционное зондирование окружающей среды. – 2018. – Т. 215. – С. 507-516. (на английском языке)
5. Аймбетова Г.А., Цычуева Н.Ю. Некоторые преимущества использования данных со спутников Сентинел-2 для изучения оползневых процессов. // Материалы

Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы, 2020. – С. 174-177. (на русском языке)

6. Jamal M., Mandal S. Мониторинг динамики лесов и восприимчивости к оползням в Мехико-Баласонском междуречье Дарджилинг Гималаев, Западная Бенгалия, с использованием модели плотности полога леса (FCDM) и модели индекса восприимчивости к оползням (LSIM). // *Моделирование систем Земли и окружающей среды*. – 2016. – Т 2. – №184. – С. 167-184. DOI 10.1007/s40808-016-0243-2 (на английском языке)
7. Wentao Yang, Yunqi Wang, Shao Sun, Yujie Wang, Chao Ma. Использование временных рядов Sentinel-2 для обнаружения движения склона до оползня реки Янцзы. // *Оползни*. – 2019. – №16. – С. 1313-1324. DOI: 10.1007/s10346-019-01178-8. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Чалкова Ю.С., Черепанов Б.М. Жер көшкіні үрдістері, оларды болжау және оларға қарсы күрес. // *Ползунов хабаршысы*. – 2007. – №1-2. – Б. 80-89. (орыс тілінде)
2. Нечипорова Т.П. Жер көшкіні үрдістері. // «Геоморфология» курсы бойынша әдістемелік нұсқаулық «География» және «Геоэкология» мамандықтарының күндізгі және сырттай студенттеріне. – Ростов-на-Дону, 2007. – Б. 28-29. (орыс тілінде)
3. Savvaidis P.D. Жер көшкінін бақылаудың қолданыстағы жүйелері мен әдістері. Ауылдық және геодезиялық дизайн мектебі. // «Профессор Александрос Цюмистің құрметіне жұлдыздардан Жерге және мәдениетке» Ауылдық-геодезиялық дизайн мектебі. – Салоники: Аристотель университеті. – 2003. – Б. 242-258. (ағылшын тілінде)
4. Lacroixa P., Bièvre G., Pathiera E., Kniessb U., Jongmansa D. Sentinel-2 суреттерін жер көшкінінен бұрын қозғалыстарды анықтау үшін қолдану. // *Қоршаған ортаны қашықтан сезіну*. – 2018. – Т. 215. – Б. 507-516. (ағылшын тілінде)
5. Аймбетова Г.А., Цычуева Н.Ю. Sentinel-2 жерсеріктерінің мәліметтерін Жер көшкіні үрдісін зерттеу үшін пайдаланудың кейбір артықшылықтары. // «Фараби Әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясының материалдары. – Алматы, 2020. – Б. 174-177. (орыс тілінде)
6. Jamal M., Mandal S. Мехико-Баласондағы Дарджилинг Гималай, Батыс Бенгал аралындағы орман динамикасы мен көшкінге сезімталдықты бақылау үшін, орман алқабының тығыздығы моделін (FCDM) және көшкінге сезімталдық индексінің (LSIM) модельдерін қолдану. // *Жер жүйелеоі мен қоршаған ортаны модельдеу*. – 2016. – Т 2. – №184. – Б. 167-184. DOI 10.1007/s40808-016-0243-2
7. Wentao Yang, Yunqi Wang, Shao Sun, Yujie Wang, Chao Ma. Sentinel-2 уақыттық сериясын пайдаланып, Янцзы өзені көшкінінің алдында көшкін қозғалысын анықтау. // *Көшкін*. – 2019. – №16. – Б. 1313-1324. DOI: 10.1007/s10346-019-01178-8. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Chalkova Yu.S., Cherepanov B.M. Landslide processes, their forecasting and the fight against them. // *Polzunov Bulletin*. – 2007. – №1-2. – P. 80-89. (in Russian)
2. Nechiporova T.P. Landslide processes. // *Methodological guidance on the course «Geomorphology» for full-time and part-time students of the specialties «Geography» and «Geoecology»*. – Rostov-on-Don, 2007. – P. 28-29. (in Russian)
3. Savvaidis P.D. Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques. // *School of Rural and Surveying Engineering «From Stars to Earth and Culture In honor of the memory of Professor Alexandros Tsioumis»*. // *Thessaloniki: The Aristotle University*, 2003. – P. 242-258. (in English)
4. Pascal Lacroixa, Grégory Bièvre, Erwan Pathiera, Ulrich Kniessb, Denis Jongmansa. Use of Sentinel-2 images for the detection of precursory motions before landslide failures. // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 215. – P. 507-516. (in English)
5. Aimbetova G.A., Tsychievoi N.Yu. Some advantages of using data from Sentinel-2 satellites to study landslide processes. // *Materials of the International scientific conference of students and young scientists «Farabi Alemi»*. – *Almaty*, 2020. – P. 174-177. (in Russian)

6. *Mostafa Jamal, Sujit Mandal Monitoring forest dynamics and landslide susceptibility in Mechi–Balason interfluves of Darjiling Himalaya, West Bengal using forest canopy density model (FCDM) and Landslide Susceptibility Index model (LSIM). // Modeling Earth Systems and Environment.– 2016. – Т 2. – №184. – P. 167-184. DOI 10.1007/s40808-016-0243-2/-P.167-184. (in English)*
7. *Wentao Yang, Yunqi Wang, Shao Sun, Yujie Wang, Chao Ma. Using Sentinel-2 time series to detect slope movement before the Jinsha River landslide. // Landslides. – 2019. – №16. – P. 1313-1324. DOI: 10.1007/s10346-019-01178-8. (in English)*

Сведения об авторах:

Аймбетова Г.А., PhD студент 2-го курса, преподаватель кафедры картографии и геоинформатики Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), glzar@mail.ru

Цычуева Н.Ю., канд. географ. наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), ведущий исследователь и руководитель проекта Акционерного общества «Национальный центр космических исследований и технологий» (г. Алматы, Казахстан), tsnataly@mail.ru

Авторлар туралы мәлімет:

Аймбетова Г.А., 2-курс PhD студент, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, картография және геоинформатика кафедрасының оқытушы (Алматы қ., Қазақстан), glzar@mail.ru

Цычуева Н.Ю., география ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, картография және геоинформатика кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан), «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығының» Акционерлік қоғамы жетекші зерттеушісі және жоба жетекшісі (Алматы қ., Қазақстан), tsnataly@mail.ru

Information about the authors:

Aimbetova G.A., 2st year PhD Student, Lecturer at the Department of Cartography and Geoinformatics of the Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), glzar@mail.ru

Tsychuyeva N.U., Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Associate Professor at the Department of Cartography and Geoinformatics of the Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), Leading Researcher and Project Manager of the Joint-Stock Company «National Center for Space Research and Technology» (Almaty, Kazakhstan), tsnataly@mail.ru



ВЕНТПРОМ

АРТЕМОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД



**С ДНЕМ
ШАХТЕРА!**

Код МРНТИ 52.01.75

Е.А. Сдвижкова¹, К.В. Кравченко¹, Б.Б. Имансакипова², Г.С. Шакиева²¹Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» (г. Днепр, Украина),²Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» – Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА РАНЖИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ТРАССЫ МЕТРО ПО СТЕПЕНИ ПРОБЛЕМНОСТИ

Аннотация. Для повышения эффективности комбинированного метода ранжирования участков трассы метро по степени проблемности, объединяющего возможности экспертного анализа, физического или математического моделирования предлагается вывести из сферы действия территории станции метро. В качестве примера объекта моделирования выбрана станция Алматинского метро «Достык», а в качестве численного метода моделирования – метод конечных элементов, который позволяет исследовать перераспределение напряженно-деформированного состояния породного (грунтового) массива, вмещающего станцию при максимальном соответствии реальным условиям, включая геологическое строение, физико-механические свойства массива, конструкции упругих и прочностных характеристик строительных элементов станции и бетонной обкладки тоннелей.

Ключевые слова: ранжирование, факторы риска, метод конечных элементов, моделирование, перераспределение механических напряжений, оценка устойчивости подземного сооружения.

Трассаның жер асты учаскелерін ранжирлеудің проблемалық дәрежесі бойынша аралас әдісінің тиімділігін арттыру

Аңдатпа. Метро трассасының учаскелерін сараптық талдау, физикалық немесе математикалық үлгілеу мүмкіндіктерін біріктіретін проблемалар дәрежесі бойынша ранжирлеудің құрама әдісінің тиімділігін арттыру үшін метро станциясы аумағының әрекет ету аясынан шығару ұсынылады. Метро станциясының жай-күйін сипаттайтын және ол жазылған трассаның учаскелерін үлгілеу нәтижелерімен баламалылық принципіне сәйкес анықталатын сапалы және сандық бағалау, қауіп-қатер факторларының және олардың деңгейлерін, оның жай-күйін тікелей модельдеу нәтижелерімен орындалады. Модельдеу объектісінің мысалы ретінде Алматы орналасқан метроньын «Достык» станциясы, ал модельдеудің сандық әдісі ретінде – соңғы элементтер әдісі таңдалды. Модельдеу нәтижелері бойынша механикалық кернеулердің қайта бөлінуінен туындаған тәуекелдер бағаланды, жер асты құрылысының орнықтылығын және жер бетінің жылжу шамасын бағалау орындалды.

Түйінді сөздер: ранжирлеу, тәуекел факторлары, соңғы элементтер әдісі, модельдеу, механикалық кернеулерді қайта бөлу, жер асты құрылысының тұрақтылығын бағалау.

Improving the efficiency of the combined method of ranking the underground sections of the route according to the degree of problematical

Abstract. To improve the efficiency of the combined method of ranking the underground sections of the route according to the degree of problematical, combines the capabilities of an expert analysis, physical and mathematical modeling is proposed to withdraw from the scope of the territory of the subway station. Numerical modeling of the stress-strain state of the soil mass around the cavity intended for the metro station allows us to assess the risks caused by the redistribution of stresses and assess the stability of the underground structure. The Almaty metro station «Dostyk» was chosen as an example of a simulation object, and the finite element method was chosen as a numerical simulation method. Based on the simulation results, the risks caused by the redistribution of mechanical stresses were evaluated, the stability of the underground structure and the magnitude of the displacement of the earth's surface were evaluated.

Key words: ranking, risk factors, finite element method, modeling, redistribution of mechanical stresses, assessment of underground structure stability, stress distribution, mathematical modeling, level of risk, ranking sections of the metro route.

Введение

Прокладка линии метро, как и любое другое подземное строительство, оказывает влияние на породный массив, из-за нарушения его сплошности приводит к изменениям его напряженно-деформированного состояния (НДС), инициируя оптимизацию геомеханических процессов с проявлением сдвига некоторых частей массива с возможным выходом их на поверхность. Как показывает мировая практика, в этих условиях возможного проявления рисков ситуаций безопасное строительство и эксплуатация метро, наземных и подземных сооружений, находящихся в зоне взаимного влияния, обеспечивается организацией высокоэффективного мониторинга за

развитием ситуации [1]. Возможности мониторинга при большой протяженности трассы метро значительно возрастают, если перед его началом установить потенциально опасные участки вероятного проявления рисков ситуаций. Одним из успешных примеров решения такой задачи является комбинированный метод качественной и количественной оценки факторов риска и их уровней для ранжирования участков трассы метро по степени проблемности, сочетающий экспертный анализ и математическое моделирование возможного проявления рисков ситуаций [2]. Результат практического применения этого метода в условиях Алматинского метро показал его работоспособность и перспективность.

В то же время, принцип эквивалентности – концептуально заложенный метод – предполагает деление трассы метро при ранжировании на участке одинаковой длины. Это значительно упрощает процесс ранжирования. С другой стороны, принцип может значительно исказить результаты качественной и количественной оценки факторов риска и их уровней на территории станции метро, определяемых состоянием участков трассы, в которые она вписана. Из этого следует, что для повышения эффективности метода следует вывести территории станций из сферы действия принципа эквивалентности, сохраняя остальные принципы неизменными. При этом оценка фактора риска, обусловленного

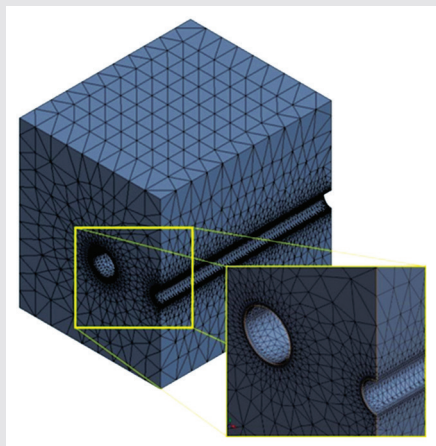


Рис. 1. Разбиение модели твердого тела на конечное число подобластей – конечных элементов.

Сурет 1. Катты дененің үлгісін қосалқы элементтердің соңғы санына бөлу.

Figure 1. Splitting a solid model into a finite number of subdomains – finite elements.

перераспределением НДС породного массива, вмещающего территорию станции, осуществляется прямым моделированием процесса численными методами. В качестве тестового объекта моделирования выбрана территория строящейся станции «Достык» Алматинского метро [3]. Моделирование НДС грунтового (породного) массива, вмещающего станцию, проводилось одним из наиболее эффективных численных методов – методом конечных элементов (МКЭ)¹.

Методы исследования

Оценка факторов риска и его уровень, связанные с перераспределением НДС породного массива, вмещающего территорию станции, определялись моделированием процессов [4].

МКЭ предполагает разбиение модели твердого тела на конечное число подобластей – малых частей простых форм, называемых элементами (рис. 1), что эффективно заменяет сложную задачу несколькими простыми, которые необходимо решать совместно.

Элементы контактируют в общих точках, называемых узлами. Каждый узел полностью описывается

рядом параметров, зависящих от типа анализа и используемого элемента. В частности, при моделировании плоских сечений твердых тел чаще всего используют треугольные конечные элементы, в узлах которых рассматривают вектор перемещений $U(u, v)$ и вектор узловых сил $F(F_x, F_y)$ (рис. 2а). Соответственно, для объемных объектов применяют тетраэдральный конечный элемент при аппроксимации 3D моделей (рис. 2б).

Все виды нагрузок, действующих на исследуемую область и формирующих в ней определенное НДС, приводятся к статически эквивалентным силам, приложенным в узловых точках. По сути, МКЭ является приближенным методом решения дифференциального уравнения, которое в матричном виде вызывает движение внутренней точки элемента с перемещениями узлов через так называемые функции формы. Переход от перемещений

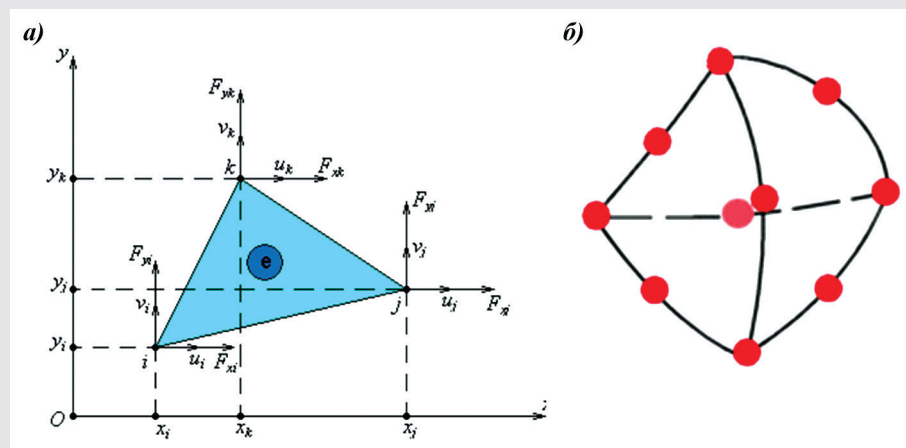


Рис. 2. Треугольный конечный элемент для аппроксимации 2D моделей (а); тетраэдральный конечный элемент для 3D моделей (б). Сурет 2. 2D модельді аппроксимациялауға арналған үшбұрышты соңғы элементі (а); 3D модельдерді аппроксимациялауға арналған тетраэдральды соңғы элементі (б).

Figure 2. A triangular finite element for approximating 2D models (a); a tetrahedral finite element for approximating 3D models (b).

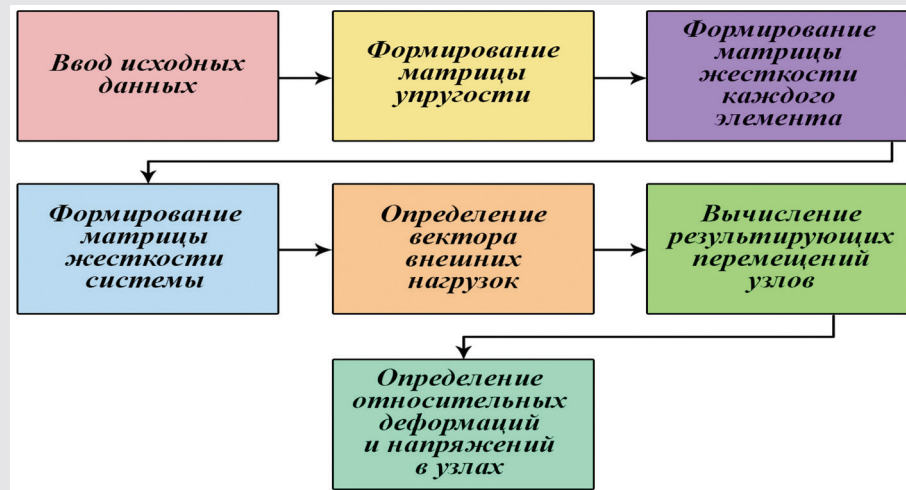


Рис. 3. Этапы расчетов напряженно-деформированного состояния породного (грунтового) массива МКЭ.

Сурет 3. Соңғы элементтер әдісі арқылы жыныс (топырақ) массивінің кернеулі-деформацияланған жағдайын есептеу кезеңдері. Figure 3. Stages of calculating the stress-strain state of a rock (soil) mass using the finite element method.

¹Olek C. Zienkiewicz, Robert L. Taylor, Fox D.D. *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics Seventh Edition.* – Elsevier Butterworth-Heinemann, 2013-2014. – 672 p. (in English)

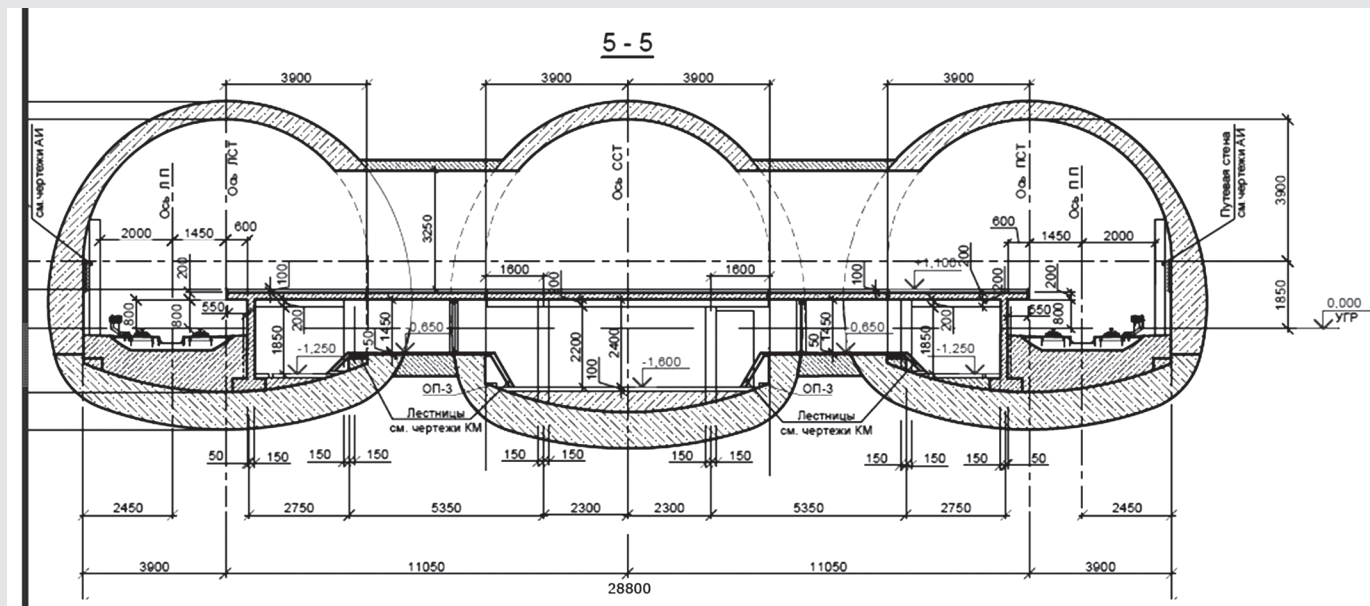


Рис. 4. Схема расположения и размеры тоннелей.
Сурет 4. Тоннельдердің орналасу схемасы және өлшемдері.
Figure 4. Diagram of location and size of the tunnels.

к деформациям осуществляется через дифференциальные соотношения Коши [4], деформации связываются с напряжениями через матрицу упругости, которая содержит модуль Юнга и коэффициент Пуассона². В конечном итоге, для каждого элемента формируется матрица жесткости, которая включает координаты узлов и упругие константы.

Затем матрицы жесткости отдельных элементов формируются в глобальную матрицу системы K . На внешнем контуре рассматриваемой области массива и на контуре выработки задаются поверхностные силы, которые в случае отсутствия поверхностных нагрузок равны нулю, а перемещения узловых точек контура неизвестны. Формируется вектор внешних нагрузок F_n и разрешающая система линейных алгебраических уравнений вида $KU = F_n$, результатом решения которой являются перемещения узлов, через которые определяются полные тензоры деформаций и напряжений в каждом элементе области.

Применительно к решению задачи о протяженной горной выработке (тоннеле) исследуемая область представляет собой сечение выработки, перпендикулярное ее продольной оси, и разбивается

на плоские треугольные или четырехугольные элементы единичной толщины h , взаимодействующие между собой через узлы. В пределах каждого конечного элемента массив предполагается однородным и упругим.

МКЭ позволяет рассматривать напряжения и перемещения в неоднородных средах, исследовать взаимодействие крепи с окружающим горным массивом, учитывая при этом реальную форму исследуемой области и деформационные

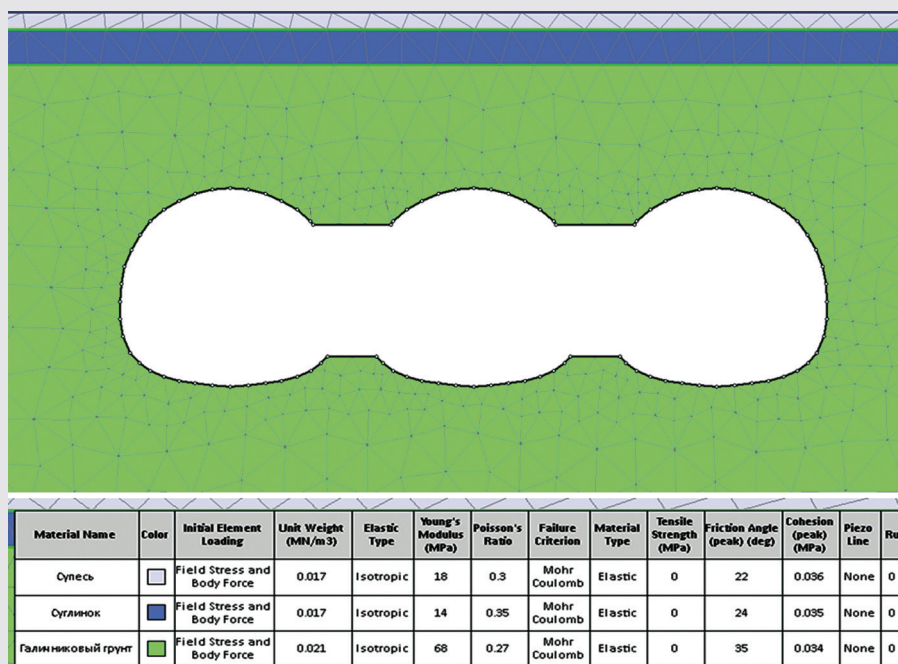


Рис. 5. Расчетная схема, конечно-элементная сетка области и выкопировка таблицы задаваемых свойств грунтов.
Сурет 5. Есептік сызба, аймақтың түпкілікті элементті торы және топырақтың берілген қасиеттерінің кестесін көшіріп алу.
Figure 5. Calculation scheme, finite element grid of the area and a copy of the table of specified soil properties.

²Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. – Киев: Новий друк, 2016. – 527 с.

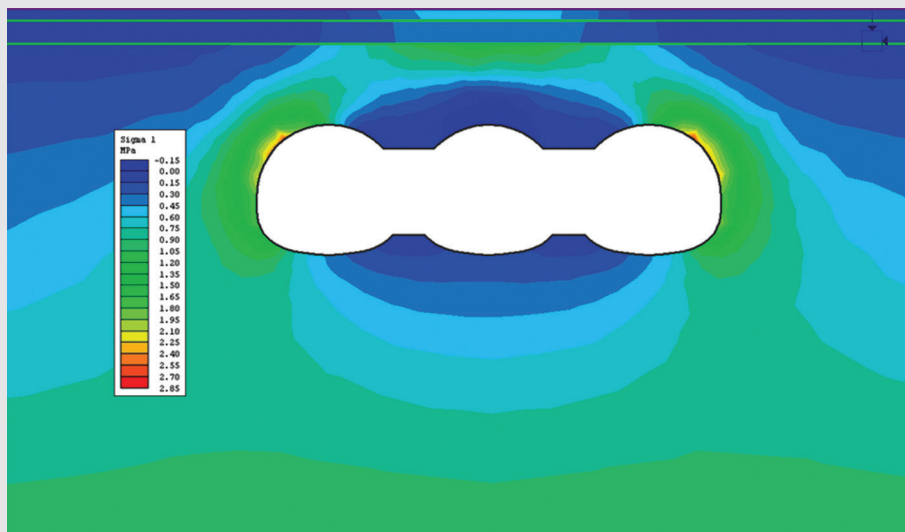


Рис. 6. Распределение наибольших главных напряжений.
Сурет 6. Ең үлкен басты кернеулерді бөлу.
Figure 6. Distribution of the largest main stresses.

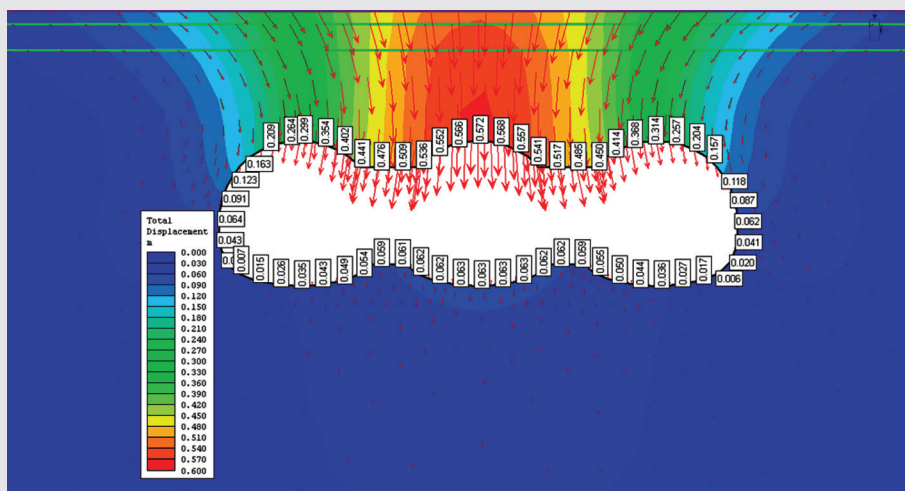


Рис. 7. Гипотетическая картина перемещений и векторов смещений, которые имели бы место, если бы полость была образована в массиве без закрепления.

Сурет 7. Егер қуыс массивте бекітусіз пайда болса, орын алатын жылжулар мен ығысу векторларының гипотетикалық көрінісі.
Figure 7. Hypothetical picture of displacements and displacement vectors that would occur if the cavity was formed in the array without anchoring.

показатели крепи и массива [5-7]. Породный массив, вмещающий закрепленную или незакрепленную выработку, в свою очередь, может иметь участки с различной жесткостью, связанные с особенностями его структуры и неоднородности состава горных пород. Этапы решения такой задачи с помощью метода конечных элементов показаны на рис. 3.

Вводимая в расчетную схему исходная информация состоит из

следующих параметров: число конечных элементов, на которые разбивается исследуемая область; общее число узлов, образующихся при этом разбиении, координаты этих узлов; число типов элементов с разными физико-механическими свойствами; значения физико-механических свойств для каждой группы элементов, значения напряжений и перемещений, характеризующие граничные условия. В результате решения системы

уравнений определяются значения перемещений узлов, от которых переходят к перемещениям внутренних точек элемента, а затем – к относительным деформациям и напряжениям в этих точках. Таким образом, результат вычислений есть полный тензор напряжений, деформаций и перемещений в каждом конечном элементе области.

Результаты

Осуществлено моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вмещающего станцию метрополитена (станция «Достык»). Исходными данными для моделирования являются геометрические размеры подземного сооружения (рис. 4) и физико-механические свойства грунтов на участке сооружения (табл. 1). Моделирование проводилось с использованием лицензионной программы PHASE2 компании Rocscience³ [8]. Расчетная схема задачи и конечно-элементная сетка области моделирования представлены на рис. 5.

Станция расположена на глубине 8 м от поверхности, которая представлена верхней границей области. Грунтовой массив нагружен силами собственной массы. Граничные условия: по боковым границам области запрещены горизонтальные перемещения, по нижней границе запрещены вертикальные перемещения. Левый и правый углы нижней границы жестко закреплены. Укрупненный фрагмент области показывает, что массив представлен супесью, суглинками и галечным грунтом. Для каждого слоя заданы свойства в соответствии с табл. 1. Используется деформационная модель Кулона-Мора. Первоначально моделировалось незакрепленное выработанное пространство.

Выше указывалось, что в результате расчетов МКЭ определяется полный тензор деформаций и напряжений в любой точке области. Наиболее информативными характеристиками НДС массива являются главные напряжения и перемещения. Распределение

³<https://www.civilax.com/rocscience-phase2/>

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов

Кесте 1

Топырақтың физикалық-механикалық сипаттамалары

Table 1

Physical and mechanical characteristics of soils

Наименование грунта	Плотность, т/м ³	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, кПа	Модуль деформации, мПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент Протоджьяконова
супесь	1,64-1,74	22	36	18	0,3	1,0
суглинок	1,66-1,75	24	35	14	0,35	1,0
галечниковый грунт	2,17-2,30	35	34	68	0,27	1,2-1,7

наибольших главных напряжений (рис. 6) является характерным для протяженной полости. Имеет место падение напряжений над и под полостью (синяя цветовая гамма) и концентрация напряжений в боках крайних тоннелей (желто-зеленая цветовая гамма).

Перераспределение напряжений в грунтовом массиве обуславливает развитие смещений в полости. На рис. 7 представлена гипотетическая картина перемещений и векторов смещений, которые имели бы место, если бы полость была образована в массиве без закрепления. Видно, что наибольшие смещения развиваются в центральном тоннеле, достигая 0,6 м. Очевидно, что такая полость неустойчива, и фактически произойдет обрушение грунта в выработанное пространство, следовательно, и проседание земной поверхности (рис. 8). Поэтому технологией сооружения станций метро предусмотрено проведение сначала боковых тоннелей с отставанием 50-60 м друг от друга, а затем – среднего тоннеля. Средний станционный тоннель проходят с принятием необходимых мер по предотвращению деформаций обделки боковых тоннелей. Для этого в них устанавливают стальные стойки из металлических труб, а в среднем тоннеле – расстрелы из металлических труб.

Для компенсации значительных смещений грунта применяется технология поэтапной разработки полости с применением временной крепи (анкерование,

набрызгбетон) с последующей установкой постоянной крепи (железобетонные блоки заводского изготовления). Материал

железобетонных блоков – бетон проектной марки с прочностью на сжатие В30, водонепроницаемостью – не ниже марки W6;

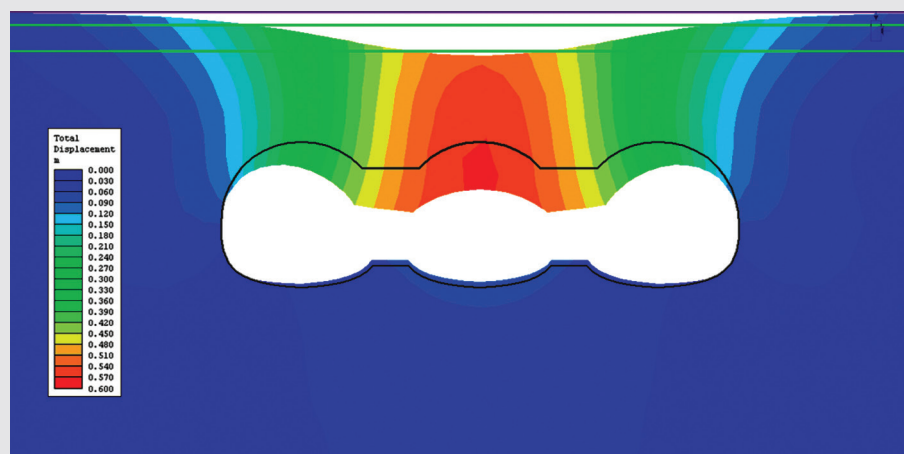


Рис. 8. Изменение сечения выработки и проседание земной поверхности.

Сурет 8. Қазба кимасының өзгеруі және жер бетінің шөгуі.

Figure 8. Change in the cross-section of the workings and subsidence of the earth's surface.

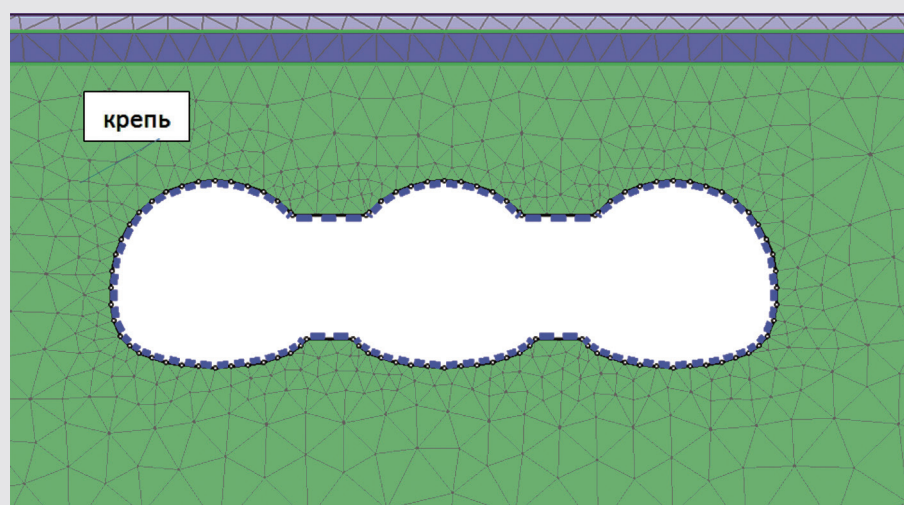


Рис. 9. Введение в расчетную схему постоянной крепи.

Сурет 9. Тұрақты бекітпенің есептік сызбасына енгізуі.

Figure 9. Introduction to the design scheme of permanent support.

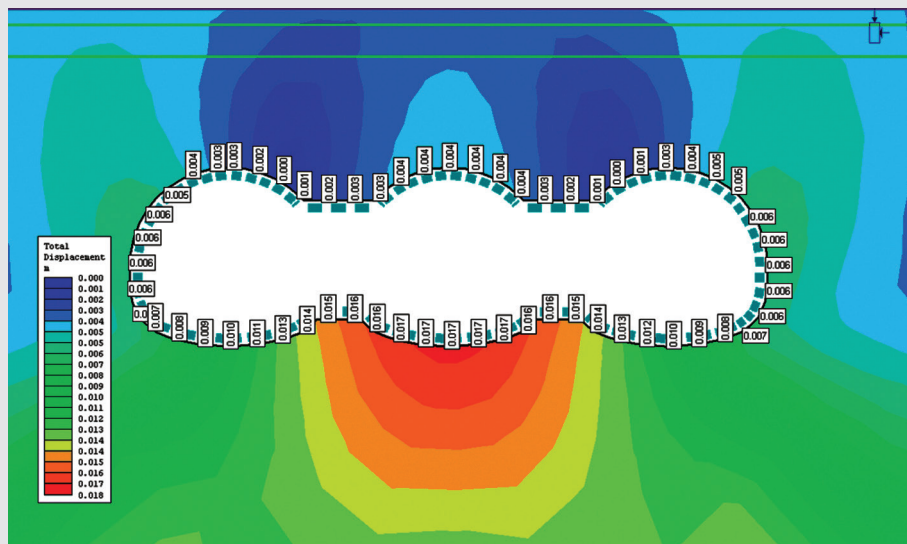


Рис. 10. Смещения контура полости при установке постоянной крепи. Сурет 10. Тұрақты бекітпені орнату кезінде қуыс контурының ығысуы. Figure 10. Displacement of the cavity contour when installing a permanent support.

внутренний диаметр кольца – 5,1 м, наружный диаметр кольца – 5,6 м, толщина блоков – 250 мм; в местах примыкания притоннельных сооружений к тоннелю – обделка тоннеля из железобетонных блоков $D_{вн}$ – 5,1 м, $D_{н}$ – 5,6 м.

Средствами программы PHASE2 смоделирована крепь из железобетонных блоков толщиной 250 мм (рис. 9). Осуществляется решение контактной задачи, реализующей взаимодействие грунтового массива с железобетонной обделкой.

Создание соответствующего отпора компенсирует смещения грунта (рис. 10) до 0,3-0,4 см в кровле. Более интенсивных деформаций следует ожидать в центральной части, причем, при возведении жесткой обделки максимум смещений перемещается в почву выработки. В целом, возведение жесткой крепи при полном контакте с грунтовым массивом обеспечивает устойчивое состояние исследуемого объекта.

Наибольшие значения смещений возможны в почве среднего

тоннеля (1,7 см). Стабилизация деформаций может быть осуществлена путем возведения конструкции типа «обратный свод», либо дополнительным нагнетанием цементирующего раствора.

Обсуждение результатов

По результатам численного моделирования НДС грунтового массива, охватывающего станцию, были оценены риски, вызванные перераспределением механических напряжений, величин смещений грунтового массива как на стадии проведения горных работ, так и по завершении строительства. Выполнена оценка устойчивости подземного сооружения.

Заключение

Предлагаемое повышение эффективности комбинированного метода ранжирования участков трассы метро на участке по степени проблемности, основанное на выводе территории станции из сферы действия принципа эквивалентности метода и оценке факторов риска, определяемых прямым моделированием их состояния, на примере Алматинского метро показал по результатам практического применения успешность принятых решений, что позволяет повысить надежность прогнозов проявления рискованных ситуаций и качество мониторинга до их развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кидирбаев Б.И., Какимжанов Е.Х., Имансакипова Н.Б., Косников В.А. Специализированная геоинформационная система управления техногенными рисками при строительстве и эксплуатации наземных и подземных сооружений. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2019. – №2. – С. 36-41. (на русском языке)
2. Имансакипова Б.Б., Московчук П.А., Шакиева Г.С., Кидирбаев Б. Ранжирование участков трассы метро по степени проблемности на основе комбинированного метода оценки факторов риска и их уровней. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2020. – №5. – С. 48-53; №6. – С. 50-53. (на русском языке)
3. Шакиева Г.С., Кожаяев Ж.Т., Кидирбаев Б.И., Московчук П.А. Анализ состояния грунтово-породного массива территории Алматинского метро. // «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0»: сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Алматы: КазНУТУ, 2019. – С. 125-128. (на русском языке)
4. Карранса-Торрес С., Дидерихс М. Механический анализ круглых вкладышей с особым упором на композитные опоры. Например, лайнеры, состоящие из торкрет-бетона и стальных комплектов. // Туннелирование и подземное пространство. – 2009. – №24(5). – С. 506-532. (на английском языке)
5. Сдвижкова Е.А., Шашенко А.Н., Смирнов А.В. Геомеханическое сопровождение горных работ в угольных шахтах. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2014. – №7. – С. 14-17. (на русском языке)

6. Сдвижкова Е.А., Бабець Д.В., Кравченко К.В., Смирнов А.В. Определение деформаций породного массива в окрестности демонстрационной камеры струговой лавы. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Днепр, 2016. – №2. – С. 34-42. (на английском языке)
7. Малковский П., Островский Л., Бачанек П. Моделирование влияния разлома малого хода на устойчивость горного полотна и его верификация методом натуральных исследований. // Энергии – журнал открытого доступа. – 2017. – №10(12). – С. 2082. <https://doi.org/10.3390/en10122082> (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кидирбаев Б.И., Какимжанов Е.Х., Имансакипова Н.Б., Косников В. А. Жер үсті және жер асты құрылыстарын салу және пайдалану кезінде техногендік тәуекелдерді басқарудың мамандандырылған геоақпараттық жүйесі. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2019. – №2. – Б. 36-41. (орыс тілінде)
2. Имансакипова Б.Б., Московчук П.А., Шакиева Г.С., Кидирбаев Б. Қауіп факторларын және олардың деңгейлерін бағалаудың аралас әдісі негізінде проблемалық дәрежесі бойынша метро трассасының учаскелерін ранжирлеу. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2020. – №5. – Б. 48-53; №6. – Б. 50-53. (орыс тілінде)
3. Шакиева Г.С., Кожжаев Ж.Т., Кидирбаев Б.И., Московчук П.А. Алматы метросы аумағының топырақ-жыныс массивінің жай-күйін талдау. // Индустрия 4.0 жағдайында минералды және техногенді шикізатты тиімді пайдалану»: халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының еңбектер жинағы. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2019. – Б. 125-128. (орыс тілінде)
4. Карранса-Торрес С., Дидерихс М. Композиттік тіректерге ерекше назар аударатын дөңгелек жапсырмаларды механикалық талдау. Мысалы, торкрет-бетоннан және болат жиынтықтардан тұратын лайнерлер. // Туннельдеу және жер асты кеңістігі. – 2009. – №24(5). – Б. 506-532. (ағылшын тілінде)
5. Сдвижкова Е.А., Шашенко А.Н., Смирнов А.В. Көмір шахталарындағы тау-кен жұмыстарын геомеханикалық сүйемелдеу. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2014. – №7. – Б. 14-17. (орыс тілінде)
6. Сдвижкова Е.А., Бабець Д.В., Кравченко К.В., Смирнов А.В. Стругалық лаваның демонстрация камерасының маңайындағы жыныс массивінің деформациясын анықтау. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми жаршысы. – Днепр, 2016. – №2. – Б. 34-42. (ағылшын тілінде)
7. Малковский П., Островский Л., Бачанек П. Тау кен төсемінің тұрақтылығына шағын жүрістің сынуының әсерін модельдеу және оны табиғи зерттеу әдісімен верификациялау. // Энергии – ашық қол жетімділік журналы. – 2017. – №10(12). – Б. 2082. <https://doi.org/10.3390/en10122082> (ағылшын тілінде)

REFERENCE

1. Kudyrbabayev B.I., Kakimzhanov E.H., Imansakipova N.B., Kosnikov V.A. Specialized geographic information system man-made risks management during the construction and operation of surface and underground structures. // Mining journal of Kazakhstan. – Almaty, 2019. – №2. – P. 36-41. (in Russian)
2. Imansakipova B.B., Moskovchuk P.A., Shakiyeva G.S., Kidirbayev B. Ranking of sections of the metro route by the degree of problems based on the combined method of assessing risk factors and their levels. // Mining journal of Kazakhstan. – Almaty, 2020. – №5. – P. 48-53; – №6. – P. 50-53. (in Russian)
3. Shakiyeva G.S., Kozhaev Zh.T., Kidirbayev B.I., Moskovchuk P.A. Analysis of the state of the soil-rock massif of the territory of the Almaty metro // Proceedings International Scientific and Practical Conference «Rational use of mineral and technogenic raw materials in Industry 4.0». – Almaty: KazNRTU, 2019. – P. 125-128 (in Russian)
4. Carranza-Torres C. & Diederichs M. Mechanical analysis of circular liners with particular reference to composite supports. For example, liners consisting of shotcrete and steel sets. Tunneling and Underground Space. – 2009. – №24(5). – P. 506-532. (in English)

5. *Sdvizhkova E.A., Shashenko A.N., Smirnov A.V. Geomechanical support of mining operations in coal mines. // Mining journal of Kazakhstan. – Almaty, 2014. – №7. – P. 14-17. (in Russian)*
6. *Sdvizhkova O.O., Babets D.V., Kravchenko K.V., Smirnov A.V. Determination of the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall. // Scientific Bulletin of the National Mining University. – Dnepr, 2016. – №2. – P. 34-42. (in English)*
7. *Małkowski P., Ostrowski L., Bachanek P. Modelling the Small Throw Fault Effect on the Stability of a Mining Roadway and Its Verification by In Situ Investigation. // Energies. – 2017. – №10(12). – P. 2082. <https://doi.org/10.3390/en10122082> (in English)*

Сведения об авторах:

Сдвижкова Е.А., д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой высшей математики Национального технического университета «Днепровская политехника», (г. Днепр, Украина), sdvizhkova.o.o@nmu.one

Кравченко К.В., PhD, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, геотехники и геомеханики Национального технического университета «Днепровская политехника», (г. Днепр, Украина), kravchenko.k.v@nmu.one

Имансакипова Б.Б., PhD, заведующая кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» – Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), b.imansakipova@satbayev.university

Шакиева Г.С., PhD докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» – Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), g.shakiyeva@satbayev.university

Авторлар туралы мәлімет:

Сдвижкова Е.А., техника ғылымдарының докторы, профессор, «Днепр политехникасы» Ұлттық техникалық университетінің «Жоғары математика» кафедрасы меңгерушісі (Днепр қ., Украина), sdvizhkova.o.o@nmu.one

Кравченко К.В., PhD докторы, техника ғылымдарының кандидаты, «Днепр политехникасы» Ұлттық техникалық университетінің «Құрылыс, геология және геомеханика» кафедрасының доценті (Днепр қ., Украина), kravchenko.k.v@nmu.one

Имансакипова Б.Б., PhD докторы, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының – Сәтбаев Университеті «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан), b.imansakipova@satbayev.university

Шакиева Г.С., «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамының – Сәтбаев Университеті «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан), g.shakiyeva@satbayev.university

Information about the authors:

Sdvizhkova E.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Department of Higher Mathematics of the Dnipro University of Technology (Dnipro, Ukraine), sdvizhkova.o.o@nmu.one

Kravchenko K.V., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Construction, Geotechnics and Geomechanics of the Dnipro University of Technology (Dnipro, Ukraine), kravchenko.k.v@nmu.one

Imansakipova B.B., PhD, Head at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Noncommercial Joint-Stock Company «Kazakh National Research University after K.I. Satbayev» – Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), b.imansakipova@satbayev.university

Shakiyeva G.S., PhD Student at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Noncommercial Joint-Stock Company «Kazakh National Research University after K.I. Satbayev» – Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), g.shakiyeva@satbayev.university

ПОДПИСКА 2020

- Подписка по каталогу АО «КАЗПОЧТА» и через альтернативные агентства ТОО «ЭВРИКА-ПРЕСС», ТОО «Агентство «ЕВРАЗИЯ ПРЕСС».

Подписной индекс 75807

- Редакционная подписка. Оформляется с любого месяца как на печатную, так и на электронную версию. Стоимость годовой подписки – 30000 тенге с учетом НДС (печатная версия) и 12000 тенге с учетом НДС (электронная версия).

+7 (727) 375-44-96

minmag.kz

✉ Yuliya.Bocharova@interrin.kz

Tatyana.Dolina@interrin.kz

Irina.Pashinina@interrin.kz

Instagram @minmag.kz



Код МРНТИ 52.13.07

А.Ж. Имашев¹, А.Е. Судариков², А.А. Мусин¹, А.К. Матаев¹¹Карагандинский государственный технический университет (г. Караганда, Казахстан),²Санкт-Петербургский горный университет (г. Санкт-Петербург, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ СТРУКТУРНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МАССИВА

Аннотация. В настоящее время разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом характеризуется большими объемами проходческих работ. Скорость и качество проходки в целом определяют эффективность развития рудника и подземных горных работ. Одним из факторов, снижающим скорость проходки при использовании буровзрывных работ, является повышенное законтурное разрушение массива горных пород, приводящее к вывалам и образованию ослабленных зон, и, в конечном итоге, к повышенным расходам на крепление и транспортировку лишней горной массы. Для возможности корректировки параметров буровзрывных работ в зависимости от изменения структурных и прочностных свойств массива создана специализированная компьютерная программа, позволяющая определять оптимальные параметры буровзрывных работ для конкретных условий проходки. Применение контурного взрывания снижает себестоимость буровзрывных работ, повышает устойчивость законтурного массива.

Ключевые слова: численное моделирование, метод конечных элементов, взрыв, контурное взрывание, законтурный массив, горная выработка, буровзрывные работы, шпур, напряжено-деформированное состояние массива, крепление, рудник, испытание.

Массивтің құрылымдық және беріктік қасиеттерін ескере отырып, бұрғылау және жару жұмыстарының тиімділігін арттыру

Аңдатпа. Қазіргі уақытта пайдалы қазбалардың кен орындарын жер асты тәсілімен игеру ұңғылау жұмыстарының үлкен көлемімен сипатталады. Үңгілеу жылдамдығы мен сапасы жалпы кеніштің және жер асты тау-кен жұмыстарының даму тиімділігін анықтайды. Бұрғылау-жару жұмыстарын пайдалану кезінде үңгілеу жылдамдығын төмендететін факторлардың бірі үйінділерге және әлсіреген аймақтардың пайда болуына, ал сайып келгенде артық кен массасын бекіту мен тасымалдауға кететін жоғары шығыстарға әкеп соқтыратын тау жыныстары массивінің шамадан тыс шекті бұзылуы болып табылады. Қазындының құрылымдық және беріктік қасиеттерінің өзгеруіне байланысты бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлерін түзету мүмкіндігі берілді. Бұрғылау-жару жұмыстарының оңтайлы параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін арнайы компьютерлік бағдарлама құрылды. Контурлық жарудың бұл әдісі бұрғылау-жару жұмыстарының өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді, ал ең бастысы жер асты тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде контурлық жыныстардың тұрақтылығы артады.

Түйінді сөздер: сандық моделдеу, соңғы элементтер әдісі, жарылыс, контурлық жару, контурлық массив, тау-кен өндірісі, бұрғылау-жару жұмыстары, шпур, массивтің кернеулі-деформациялық күйі, бекіту, кеніш, сынақ.

Increasing the efficiency of the drilling and blasting operations taking into account the structural and strength properties of the array

Abstract. Currently, the development of mineral deposits by underground method is characterized by large volumes of tunneling work. The speed and quality of sinking generally determine the efficiency of mine development and underground mining operations. One of the factors that reduces the rate of penetration when using drilling and blasting operations is increased structural destruction of the rock mass, which leads to falls and the formation of weakened zones, and ultimately, to increased costs for fixing and transporting excess rock mass. The ability to adjust the parameters of drilling and blasting operations depending on changes in the structural and strength properties of the array. A specialized computer program has been created to determine the optimal parameters of drilling and blasting operations for a specific sinking condition. This method of contour blasting allows you to reduce the cost of drilling and blasting operations, and most importantly increases the stability of sculptured rocks when conducting underground mining operations.

Key words: numerical modeling, finite element method, explosion, contour blasting, contour array, mining, drilling and blasting, spur, stress-strain state of the array, mounting, mine, testing.

Цель работы

Проведенные исследования направлены на повышение устойчивости законтурного массива, снижение затрат на крепление горных выработок и транспортировку породной массы за счет оптимизации параметров буровзрывных работ (БВР) при строительстве подземных горных выработок.

Методика исследований

С использованием аналитического метода исследований и путем численного моделирования методом конечных элементов по критериям Хука-Брауна определена зависимость влияния бризантности взрывчатых веществ (ВВ) на законтурный массив. На основе численного моделирования определены возможные зоны разрушения горных пород при изменении бризантности взрывчатого вещества.

Результаты

Проведен сравнительный анализ контурного взрывания с общепринятым способом взрывания. Обоснована экономическая эффективность разработанного

паспорта БВР. Доказано, что зарядание контурных шпуров малобризантными ВВ является эффективным методом снижения сейсмозрывных нагрузок на законтурный массив. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний.

Научная новизна

Научная новизна заключается в возможности определения численных значений коэффициента сейсмического влияния взрыва в зависимости от бризантности применяемого ВВ путем опытных взрывов. Разработаны паспорта БВР с учетом структурных и прочностных свойств массива на основе численного анализа.

Практическая значимость

Обоснована возможность корректировки параметров БВР в зависимости от изменения структурных и прочностных свойств массива. Создана специализированная компьютерная программа, позволяющая определять оптимальные параметры буровзрывных работ для конкретного условия проходки. Способ контурного взрывания позволяет снизить себестоимость БВР,

Таблица 1

Элементы залегания систем трещин

Кесте 1

Жарықтар жүйелерінің орналасу элементтері

Table 1

Elements of occurrence of crack systems

№ системы	Средний угол падения, град.	Средний азимут падения, град.	Характеристика системы трещин
1	40	345	напластование
2	65	159	продольно секущая
3	57	256	поперечно секущая

и, самое главное, повысить устойчивость законтурных пород при ведении подземных горных работ.

Анализ и обобщение литературных данных [1-5] показали, что более 90% горных пород при добыче отделяются от массива путем взрывного разрушения и, несмотря на большой объем теоретических и экспериментальных исследований [6-8], эффективное управление действием взрыва недостаточно изучено, так как на сегодняшний день отсутствует методика для расчета параметров БВР с учетом структурных особенностей массива горных пород. Поэтому проблема повышения устойчивости законтурного массива весьма актуальна, ее решение базируется на усовершенствовании способов управления энергией взрыва, в основу которых положены достоверные физические представления о процессах разрушения горных пород взрывом.

Разрушение взрывом сплошных напряженных сред и выявление его закономерностей являются предметом исследований многих ученых. Значительный вклад в исследование процессов разрушения горных пород, формирования и распространения волн напряжений в массиве горных пород при взрыве зарядов ВВ внесли: В.В. Адушкин, В.А. Боровиков, И.Ф. Жариков, В.Ф. Клочков, Г.М. Крюков, Б.Н. Кутузов, В.Н. Родионов, М.Г. Менжулин, В.А. Фокин, Е.И. Шемякин, А.Н. Ханукаев, Р.Е. Андреев, С.Г. Brown, G.O. Thomas, P. Erion, A. Algest. Несмотря на большой объем выполненных работ и достигнутые успехи в научных исследованиях по оценке влияния напряженного состояния массива на результирующее действие взрыва существуют различные мнения исследователей, до настоящего времени нет окончательного научно обоснованного подхода к определению рациональных параметров БВР при проходке выработок [9].

Повышение эффективности буровзрывных работ с учетом напряженного состояния массива представляет важную в практическом и научном плане задачу, решение которой позволит снизить затраты на единицу добываемого полезного ископаемого.

Цель исследования – повышение устойчивости законтурного массива за счет оптимизации параметров БВР при проходке подземных горных выработок. Для ее достижения определены следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения контурного взрывания в крепких породах с повышенной трещиноватостью;
- разработать паспорта БВР и схемы зарядания контурных шпуров;

• провести опытно-промышленные испытания по разработанным паспортам БВР.

Методы исследования

В настоящее время общепринятой методикой составления паспортов БВР является расчет удельного расхода и параметров зарядов на весь объем взрывающей породы в забое целиком, без рассмотрения, а тем более, расчета особенностей напряженно-деформационного состояния (НДС) массива горных пород. В связи с этим изучено сейсмическое влияние взрыва на законтурный массив методом численного моделирования [10].

Опытные взрывы проводились в подземных горных выработках рудника Акбакай. Непосредственно на контуре выработки установлены показатели прочности пород (RQD) и выполнена линейная съемка

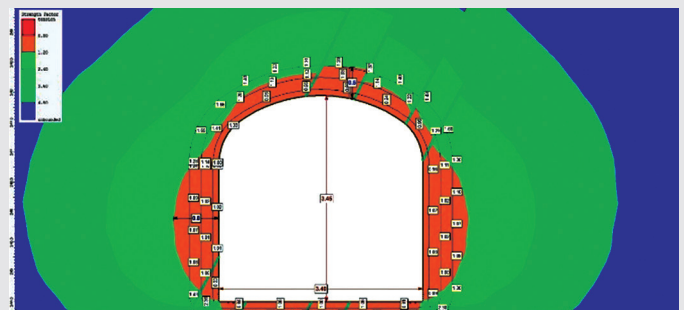


Рис. 1. Результаты численного анализа без учета контурного взрывания.

Сурет 1. Контурлық жаруды есепке алмай сандық талдау нәтижелері.

Figure 1. Results of numerical analysis without taking into account contour blasting figure.

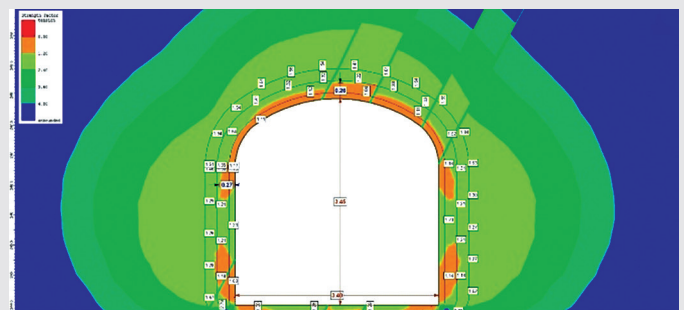


Рис. 2. Результаты численного анализа с учетом контурного взрывания.

Сурет 2. Контурлық жаруды есепке ала отырып сандық талдау нәтижелері.

Figure 2. Results of numerical analysis with taking into account contour blasting figure.

Таблица 2
Обработанные физико-механические свойства пород
Кесте 2
Жыныстардың өңделген физикалық-механикалық қасиеттері

Table 2
Processed physical and mechanical properties of rocks

Домен	1	2
Прочность на растяжение (в массиве) σ	0,292	0,746
Модуль упругости массива E , МПа	12550,8	16960
Угол внутреннего трения φ , град	48,15	46
Сцепление C , МПа	2,614	3,2
Коэффициент Пуассона μ	0,3	0,3
Объемная масса γ	2,69	2,7

трещиноватости, т. е. определены основные параметры для расчета геологического индекса прочности GSI [11]. По результатам съемки выделены три системы трещин, элементы залегания которых приведены в табл. 1.

Свойства трещиноватого массива определены по критерию Хука-Брауна¹ с использованием геологического индекса прочности GSI [12]. Геологический индекс прочности GSI рассчитывается по формуле:

$$GSI = [(52J_r/J_a)/(1 + J_r/J_a)] + RQD/2, \quad (1)$$

где J_r , J_a – показатели шероховатости и измененности заполнения трещин по Н. Бартону (для условий месторождения Акбакай принято: $J_r = 1,5$; $J_a = 2$).

Согласно уравнению (1), ориентировочное значение геологического индекса прочности GSI составляет 68.

Для численного моделирования устойчивости массива горных пород методом конечных элементов необходимо обработать физико-механические свойства горных пород по критериям Кулона-Мора или Хука-Брауна в программе RocLab. Программа также учитывает качество воздействия взрыва на законтурный массив, т. е. при идентичных свойствах массива горных пород качество оконтуривания зависит от бризантности ВВ. В табл. 2 приведены показатели физико-механических свойств пород, являющиеся исходными данными для численного моделирования методом конечных элементов.

По результатам численного моделирования НДС массива после техногенного воздействия на него путем обычного способа взрывания (рис. 1), возможные неустойчивые зоны в кровле выработки могут достигать 0,5 м, а при применении контурного взрывания (рис. 2) данный показатель уменьшается в два раза (0,25 м), то есть устойчивость законтурного массива повышается. Следовательно, можно утверждать, что в крепких породах с повышенной трещиноватостью применение контурного взрывания целесообразно с точки зрения безопасности – за счет уменьшения возможных зон обрушения, а с точки зрения экономики – за счет снижения расходов на вторичное разубоживание и на крепление при ведении горнопроходческих работ.

Паспорт БВР разработан для полевых горизонтальных выработок по методике Б.Н. Кутузова [13] и дополнен

по результатам опытных взрывов. В целях снижения воздействия взрыва на законтурный массив, на своде выработки решено в опытным порядке пробурить дополнительные холостые шпуров для распределения силы взрыва. Схема расположения шпуров представлена на рис. 3.

На сегодняшний день в зарубежной практике [14] широко используется система распределения эмульсионных

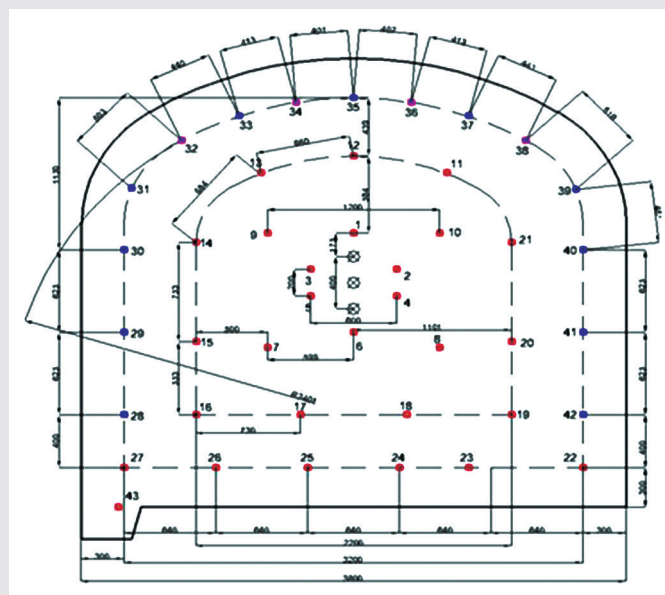


Рис. 3. Схема расположения шпуров.

Сурет 3. Шпурлардың орналасу схемасы.

Figure 3. Diagram of the location of boreholes figure.

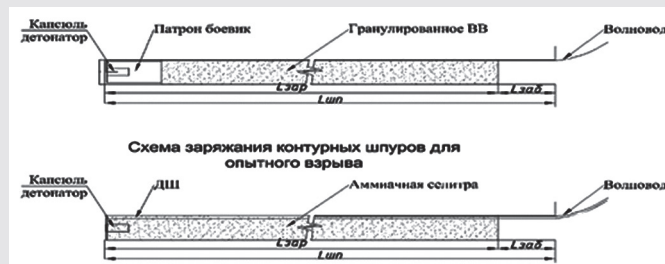


Рис. 4. Схема зарядания контурных шпуров

Сурет 4. Контурлық шпурларды зарядтау схемасы.

Figure 4. Diagram of charging contour boreholes figure.

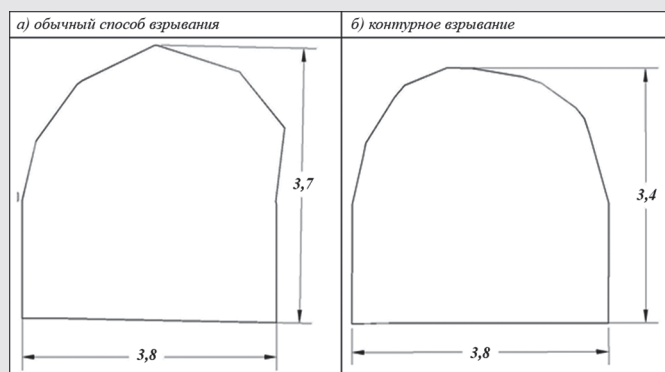


Рис. 5. Фактическая тахеометрическая съемка выработок.

Сурет 5. Қазбалардың нақты тахеометриялық түсірілімі.

Figure 5. Actual total station survey of workings.

¹Hoek E. Practical Rock Engineering. – 2017: www.rockscience.com.



Рис. 6. Результаты БВР.

Сурет 6. БВР нәтижелері.

Figure 6. Results of BWR figure.

взрывчатых веществ (ЭВВ) с помощью отводчика-шланга, который показал целый ряд преимуществ, в том числе повышение эффективности проходки подземных горных выработок, сокращение времени заряжания забоя, а также потребности в трудовых ресурсах. Однако, если рассуждать с точки зрения экономики, стоимость ЭВВ выше по сравнению с ВВ, предлагаемыми авторами. Согласно предложенной авторами схеме заряжания, контурные шпурсы заряжаются с применением аммиачной селитры, детонирующего шнура и капсуля-детонатора. Таким способом заряжания контурных шпурсов достигаются весьма эффективные результаты, направленные на повышение устойчивости законтурного массива горных пород. Схема заряжания контурных шпурсов показана на рис. 4.

На рис. 5 показана фактическая маркшейдерская съемка поперечных сечений выработок тахеометрическим прибором при обычном способе взрывания (рис. 5а) и при заряжании контурных шпурсов способом, предложенным авторами (рис. 5б). Фактическая площадь поперечного сечения выработок при обычном способе взрывания $14,1 \text{ м}^2$, тогда как проектная площадь поперечного сечения $12,0 \text{ м}^2$. На рис. 5а видно, что при обычном способе взрывания происходят вывалы с кровли и бортов выработки, что, зачастую, приводит к увеличению коэффициента излишка сечения (КИС) не менее 1,175. При контурном взрывании (рис. 5б) средний КИС не превышает 1,05, соответственно, контур выработки близок к проектному очертанию.

Опытные взрывы проводились на двух подэтажах в одном блоке, в идентичных породах, в выработках сечением $9,0 \text{ м}^2$. В верхнем подэтаже взрывные работы проводились обычным способом, а в нижнем – с применением контурного взрывания. В общей сложности, в течение 1,5 месяцев произведено по 37 взрывов с каждого подэтажа. После каждого взрыва проводилась съемка сечений выработок лазерным тахеометром. Результаты съемок (рис. 6) показывают, что сечение выработок при обычном способе взрывания варьируется в интервале $10,5\text{--}12,1 \text{ м}^2$, а при контурном максимальное фактическое сечение выработки равно $10,2 \text{ м}^2$.

Анализ проведенных в течение трех месяцев опытно-промышленных испытаний в выработках рудника Акбакай показал положительный результат, чему

свидетельствует сведение к минимуму образования заколов и трещин в законтурном массиве горных пород по сравнению с обычным способом взрывания. На основании этого можно утверждать, что снижение воздействия взрыва на законтурный массив горных пород достигнуто. На рис. 7-9 представлены результаты опытных взрывов.

Закключение

Предлагаемый способ контурного взрывания позволяет решить актуальную для подземных рудников



Рис. 7. Влияние силы взрыва на кровлю выработки.
Сурет 7. Сурет-қазба шатырына жарылыс күшінің әсері.
Figure 7. Effect of the explosion force on the roof of the workings figure.

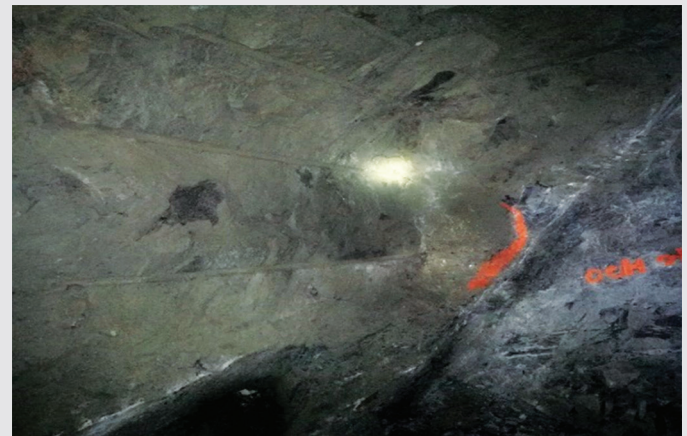


Рис. 8. Результаты контурного взрывания.
Сурет 8. Контурлық жару нәтижелері.
Figure 8. Results of contour blasting figure.

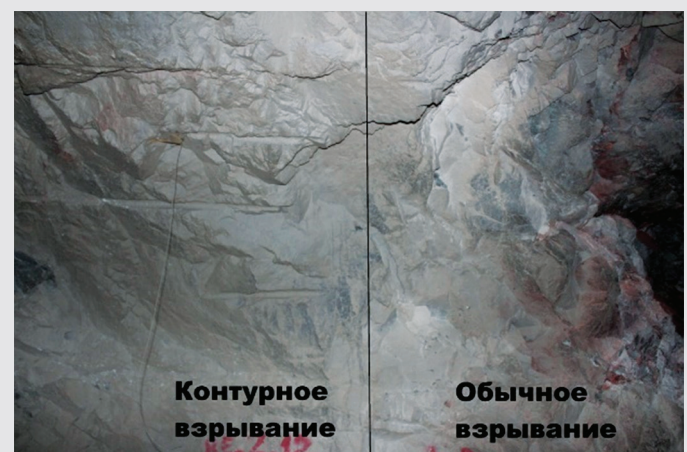


Рис. 9. Влияние силы взрыва на стенку выработок.
Сурет 9. Жарылыс күшінің қазба қабырғасына әсері.
Figure 9. Effect of the explosion force on the wall of the workings.

задачу повышения сохранности законтурного массива при проведении горных выработок взрывным способом в крепких породах с интенсивной трещиноватостью.

Качественные показатели взрыва улучшились по сравнению с обычным способом взрыва.

Получены основные научные результаты.

1. Разработана схема зарядания контурных зарядов с учетом НДС массива, структурных и прочностных характеристик горных пород, позволяющая повысить сохранность законтурного массива и безопасность ведения горных работ.

2. После применения контурного взрывания поверхность контура обнажения выработки достаточно ровная,

без заколов и трещин. На всю длину заходки прослеживается остаточная поверхность шпура, что говорит о снижении воздействия взрыва на законтурный массив.

3. Установлено, что при взрыве низкобризантных ВВ в контурных шпурах радиус интенсивного трещинообразования уменьшается на 30-40%, тем самым переборы от проектных параметров сводятся к минимуму.

4. Расход ВВ уменьшился на 7%.

5. Расходы на транспортировку лишней горной массы уменьшились приблизительно на 10-15%.

6. Сократились расходы на крепление горных выработок.

7. Снизилось разубоживание добываемой попутной руды.

8. Уменьшились расходы на проветривание выработок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Brown C.J., Thomas G.O. Экспериментальные исследования воспламенения и перехода к детонации, индуцированные отражением и дифракцией ударных волн. // Ударная волна. – 2000. – №10(1). – С. 23-32. (на английском языке)
2. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород взрывом. // Физические проблемы разрушения горных пород. – М.: ИПКОН РАН, 1998. – С. 18-29. (на русском языке)
3. Адушкин В.В., Спивак А.А. Разрушающее действие взрыва в предварительно напряженной среде // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2002. – №4. – С. 61-69. (на русском языке)
4. Адушкин В.В., Щекин Л.Н. О влиянии горного давления на характер разрушения пород взрывом. // Проблема разрушения горных пород взрывом. – М.: Недра, 1967. – С. 28-32. (на русском языке)
5. Азаркович А.Е., Шуйфер М.И. Оценка относительной взрывной эффективности различных взрывчатых веществ и массивов пород. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1997. – №2. – С.47-51. (на русском языке)
6. Акаев М.С., Крутило А.А. О повышении эффективности скважинных зарядов с воздушными промежутками. // Взрывное дело. – М.: Недра, 1974. – №73/30. – С. 16-19. (на русском языке)
7. Александрова Н.И., Шер Е.Н. Влияние утечек газов из полости взрыва сферического заряда на разрушение горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – №5. – С. 43-53. (на русском языке)
8. Андреев Р.Е. К вопросу расчета параметров буровзрывных работ с учетом напряженно-деформированного состояния горного массива. // Взрывное дело. – 2007. – №98/55. – С. 63-67. (на русском языке)
9. Андреев Р.Е., Жихарев С.Я., Гридина Е.Б. Исследование формирования направленного раскола при взрыве удлиненных зарядов взрывчатого вещества. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – №2. – С. 203-214. (на русском языке)
10. De A. et al. Численное и физическое моделирование геопеновых барьеров как защиты от воздействия поверхностного взрыва на подземные тоннели. // Геотекстиль и геомембраны. – 2016. – Т. 44. – С. 1-12. (на английском языке)
11. Imashev A., Suimbayeva A., Zholmagambetov N., Takhanov D. Исследование возможных зон неупругой деформации массива горных пород. // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия геолого-технических наук. – 2018. – Т. 2. – №428. – С. 177-184. ISSN 2224-5278. (на английском языке)
12. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Количественная оценка диаграммы индекса Геологической прочности. // ARMA. – 2013. – 13-672. (на английском языке)
13. Белин В.А., Кутузов Б.Н. Технология и безопасность взрывных работ. – М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр». – 2016. – С. 173-190. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Brown C.J. Соққы толқындарының дифракциясымен индукцияланған тұтану және детонацияға көшудің эксперименталды зерттеулері. // Соққы толқыны. – 2000. – №10(1). – С. 23-32. (ағылшын тілінде)
2. Адушкин В.В. Тау жыныстарын жарылыспен қиратудың Модельдік зерттеулері. // Тау жыныстарын қиратудың физикалық мәселелері. – М.: РГА ИПКОН, 1998. – Б. 18-29. (орыс тілінде)
3. Адушкин В.В., Спивак А.А. Алдын ала кернеулі ортада жарылыс әрекетін бұзатын. // Тау-кен өндірісінің физикалық және техникалық мәселелері. – 2002. – №4. – Б. 61-69. (орыс тілінде)
4. Адушкин В.В., Щекин Л.Н. Тау-кен қысымының жыныстардың жарылыспен бұзылу сипатына әсері туралы. // Тау жыныстарының жарылыспен бұзылу проблемасы. – М.: Жер қойнауы, 1967. – С. 28-32. (орыс тілінде)
5. Азаркович А.Е., Шуйфер М.И. Әр түрлі жарылғыш заттар мен тау жыныстарының салыстырмалы жарылыс тиімділігін бағалау. // Тау-кен өндірісінің физикалық және техникалық мәселелері. – 1997. – №2, – Б. 47-51. (орыс тілінде)
6. Акаев М.С., Крутило А.А. Әуе аралық ұңғымалық зарядтардың тиімділігін арттыру туралы. // Жарылыс ісі. – М.: Жер қойнауы, 1974. – №73/30. – Б. 16-19. (орыс тілінде)
7. Александрова Н.И., Шер Е.Н. Газдардың ағуының сфералық зарядтың жарылу қуысынан тау жыныстарының бұзылуына әсері. // Тау-кен өндірісінің физикалық және техникалық мәселелері. – 2000. – №5. – Б. 43-53. (орыс тілінде)
8. Андреев Р.Е. Тау-кен массивінің кернеулі-деформацияланған күйін ескере отырып, бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлерін есептеу мәселесіне. // Жарылғыш ісі. – 2007. – №98/55. – Б. 63-67 (орыс тілінде)
9. Андреев Р.Е., Жихарев С.Я., Гридина Е.Б. Жарылғыш заттың ұзартылған зарядының жарылысы кезінде бағытталған бөлінудің қалыптасуын зерттеу. // Тула мемлекеттік университетінің хабарлары. Жер туралы ғылымдар. – 2018. – №2. – Б. 203-214. (орыс тілінде)
10. De A. et al. Жер асты тоннельдеріне жер бетіндегі жарылыстың әсерінен қорғау ретінде геопен кедергілерін сандық және физикалық модельдеу. // Геотекстиль және геоменбраналар. – 2016. – Т. 44. – Б. 1-12. (ағылшын тілінде)
11. Irtashev A., Suimbayeva A., Zholmagambetov N., Takhanov D. тау жыныстары массивінің оппозупругой деформациясының ықтимал аймақтарын зерттеу. // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының хабарлары. Геология-техникалық ғылымдар сериясы. – 2018. – Т. 2. – №428. – Б. 177-184. ISSN 2224-5278. (ағылшын тілінде)
12. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Геологиялық беріктік индексі диаграммасының сандық бағасы. // ARMA. – 2013. – 13-672. (ағылшын тілінде)
13. Белин В.А., Кутузов Б.Н. Жарылыс жұмыстарының технологиясы және қауіпсіздігі. – М.: Тау-кен ісі, «Киммериялық орталық» ЖШҚ, 2016. – Б. 173-190. (орыс тілінде)

REFERENCE

1. Brown K.J., Thomas G.O. Experimental studies of ignition and transition to detonation induced by reflection and diffraction of shock waves. shock wave. – 2000. – №10(1). – P. 23-32. (in English)
2. Adushkin V.V. Model studies of rock destruction by explosion. // Collection «Physical problems of rock destruction». – Moscow: IPKON RAS, 1998, – P. 18-29. (in Russian)
3. Adushkin V.V., Spivak A.A. The destructive effect of an explosion in a prestressed medium. // Physical and technical problems of mining – 2002. – №4. – P. 61-69. (in Russian)
4. Adushkin V.V., Shchekin L.N. On the influence of mountain pressure on the nature of rock destruction by explosion. // The problem of rock destruction, explosion. – Moscow: Nedra, 1967. – P. 28-32. (in Russian)
5. Azarkovich A.E., Schuifer M.I. Evaluation of the relative explosive efficiency of various explosives of rock massifs. // Physical and technical problems of mining. – 1997. – №2. – P. 47-51. (in Russian)
6. Akaev M.S., Krutilo A.A. On improving the efficiency of borehole charges with air gaps. // Explosive case. – Moscow: Nedra, 1974. – №73/30. – P. 16-19. (in Russian)

7. Alexandrova N.I., Sher E.N. Influence of gas leaks from the explosion cavity of a spherical charge on the destruction of rocks. // *Physical and technical problems of mining*. – 2000. – №5. – P. 43-53. (in Russian)
8. Andreev E.P. On the issue of calculating the parameters of drilling and blasting operations taking into account the stress-strain state of the rock mass. // *Explosive case*. – 2007. – №98/55. – P. 63-67. (in Russian)
9. Andreev R.E., Zhikharev S.Ya., Gridina E.B. Investigation of the formation of a directional split in the explosion of elongated explosive charges. // *Proceedings of the Tula state University. Earth Sciences*. – 2018. – №2. – P. 203-214. (in Russian)
10. De A. et al. Numerical and physical modeling of geopene barriers as protection from the impact of surface explosion on underground tunnels. // *Geotextile and Geomembranes*. – 2016. – Vol. 44. – P. 1-12. (in English)
11. Imashev A., Suimbayeva A., Zholmagambetov N., Takhanov D. Investigation of possible zones of inelastic deformation of rock mass. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geological and Technical Sciences*. – 2018. – Vol. 2. – №428. – P. 177-184. ISSN 2224-5278. (in English)
12. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Quantitative evaluation of the Geologic strength index diagram. // *ARMA*. – 2013. – 13-672. (in English)
13. Belin V.A., Kutuzov B.N. *Technology and safety of explosive works*. – M.: Mining, LLC «Kimmeriyskiy center», 2016. – P. 173-190. (in Russian)

Сведения об авторах:

Имашев А.Ж., доктор PhD, заведующий кафедрой «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), imashev_85@mail.ru

Судариков А.Е., канд. техн. наук, доцент кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых» Санкт-Петербургского горного университета (г. Санкт-Петербург, Россия), Sudarikov_AE@pers.spmi.ru

Мусин А.А., докторант по специальности «Горное дело» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), musin_aibek@mail.ru

Матаев А.К., магистр техн. наук, PhD докторант, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), mataev.azamat@mail.ru

Авторлар туралы мәлімет:

Имашев А.Ж., PhD, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті «Пайдалы қазбалар кен орындарын қазып игеру» кафедрасының меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан), imashev_85@mail.ru

Судариков А.Е., техника ғылымдар кандидаты, Санкт-Петербург тау-кен университеті «Пайдалы қазбалар кен орындарын қазып игеру» кафедрасының доценты (Санкт-Петербург қ., Ресей), Sudarikov_AE@pers.spmi.ru

Мусин А.А., Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті тау-кен ісі бойынша докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан), musin_aibek@mail.ru

Матаев А.К., – техника ғылымдар магистрі, PhD, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті «Пайдалы қазбалар кен орындарын қазып игеру» кафедрасы оқытушысы, mataev.azamat@mail.ru

Information about the authors:

Imashev A.Zh., PhD, Head at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), imashev_85@mail.ru

Sudarikov A.E., PhD, associate Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Saint Petersburg Mining University (Saint Petersburg, Russia), Sudarikov_AE@pers.spmi.ru

Musin A.A., Doctoral Student «Mining» of the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), musin_aibek@mail.ru

Mataev A.K., Master of Technical Science, PhD Student, Teacher at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda State Technical University, mataev.azamat@mail.ru

Код МРНТИ 52.35.29

N.Sh. Akimbekov, K.T. Tastambek, D.K. Sherelkhan, B.T. Berdikulov

Scientific Research Institute of Biology and Biotechnology Issues (Almaty, Kazakhstan)

THE CREATION OF A COMPOSITE BASED ON KAZAKHSTAN BROWN COAL AND MICROBIAL COMMUNITY

Abstract. The biotechnological transformation of the brown coal (lignite) structure is an environmentally friendly and cost-effective way of converting carbon-containing raw materials. The modification of coal minimizes the use of hazardous chemicals and the release of toxic compounds into the environment. The modern ecological crisis in certain countries and regions dictates to establish in detail requirements for the quality of burned municipal and industrial fuels. In addition, the combustible fuel must have a low sulfur content, low smoke-ash content and the necessary granulometric composition. Therefore, exploring and implementing the most modern, environmentally friendly and economical ways to increase the resources of improved grade fuel is of fundamental importance.

Key words: brown coal, humic substances, metagenomics, microbial dynamics, microbial structure, coal deposit.

Қазақстанның қоңыр көмірі мен микробтық қауымдастығының негізінде композит жасау

Аннотация. Қоңыр көмір құрылымының биотехнологиялық трансформациясы – экологиялық қауіпсіз және құрамында көміртегі бар шикізатты конверсиялауда экономикалық тиімді тәсілге жатады. Көмірдің мұндай модификациясын қолдану қауіпті химиялық заттарды пайдалану мен қоршаған ортаға уытты қосылыстардың шығуын азайтады. Жеке елдер мен аумақтардағы қазіргі экологиялық ахуал коммуналды-тұрмыстық және өндірістік отынның сапасына қатаң талап қою қажет екендігін алға тартып отыр. Сонымен қатар жағатын отынның құрамында күкірт мөлшері төмен болуы керек, түтін мен күл аз бөлінуі және қажетті гранулометрикалық құрамы болуы тиіс. Сондықтан жетілдірілген сорттық отын ресурстарын көбейтудің заманауи экологиялық және экономикалық жолдарын іздеу және жүзеге асыру үлкен маңызды мәселе.

Түйінді сөздер: қоңыр көмір, гуминді заттар, метагеномика, микробтық динамика, микроб құрылымы, көмір кен орны.

Создание композита на основе казахстанского бурого угля и микробного сообщества

Аннотация. Биотехнологическая трансформация структуры бурых углей является экологически безопасным и достаточно экономически выгодным способом конверсии углеродсодержащего сырья. Применение такой модификации угля минимизирует использование опасных химических веществ и выбросы токсических соединений в окружающую среду. Современная экологическая обстановка в отдельных странах и регионах диктует необходимость ужесточения требований к качеству сжигаемого коммунально-бытового и промышленного топлива. Кроме того, сжигаемое топливо должно обладать низким содержанием серы, малой дымностью, зольностью и необходимым гранулометрическим составом. Поэтому поиск и реализация наиболее современных экологических и экономических путей увеличения ресурсов обогащенного сортового топлива имеет принципиально важное значение.

Ключевые слова: бурый уголь, гуминовые вещества, метагеномика, микробная динамика, микробная структура, угольное месторождение.

Introduction

Over the decades, coal has mainly been considered as a fuel for obtaining energy. The requirement for generating power from natural resources such as coal and oil is obviously of paramount importance. It has its own advantages and disadvantages concerned for benefits and ecological damage. Moreover, it is good that substitute energy sources are developing and dependence on coal is becoming less and less. However, what about the other useful ways of natural utilization of coal? The answer for these lays on the chemical and biotechnological methods with what the researches can develop alternative ways for the usage of coals. This work will describe one of the final products originated from coal.

The organic compound, coal is available in huge amounts all over the world. The chemical composition and physical appearance of matter vary depending on the different storage conditions and source locations. Therefore, it is widely accepted that coals have two major groups such as low-rank coal (LRC) and high-rank coal (HRC) types. Compared to HRC, which has the specific fields, LRC are evenly spread around the world and estimated to have approximately five hundred billion tons of the resources [1]. Specifically, the main types of LRC are lignite and sub-bituminous coal. The lignite or brown coal is considered as the relatively youngest coal type, which have the lowest amount of C and energy content.

Generally, the coal of this type has not been exposed to the drastic changes that are normal to energy rich content coal classes. However, the sub-bituminous coal composition data is greater than lignite and is related to have at least one hundred million years. By the reason of the long exposure to air, the physicochemical properties of coal change and lose quality with the lapse of time. Most probably, due to the low thermic capacity and undesirable fragmentation the coal would not be utilized for the energy generation.

In view of this, usually, the amount of LRC is not included to the reserves data, because considered as run-of-mine coal [2]. In comparison with bituminous coal and anthracite, which belong to the HRC group, the LRC (lignite and subbituminous coal) properly possess with a decreased amount of fixed carbon (between sixty and seventy percent of total content) and correspondingly, a low potential energy (around 15 MJ/kg). The level of water humidity is detected to be over 60%, while the amount of ash content is also high [3]. Thus, the low-quality coal has dense shape, soft and friable consistency [4]. From this perspective, such unproductive low-rank coals remaining in many deposits require the alternative solutions of their application. Ordinarily, the reserves of organic matter are distributed over wide areas, which makes the process more difficult [5].

Specific microbial community plays an enormous role in the carbon and nitrogen transformation of coal. In the process of coal conversion, microbes being as intermediaries conduct

¹Akimbekov N.S., Qiao X., Digel I., Abdiyeva G., Ualiyeva P., Zhubanova A. The Effect of Leonardite-Derived Amendments on Soil Microbiome Structure and Potato Yield. // MDPI. – 2020.

Selection of experimental humus components

Table 1

Тәжірибелік гумустың компоненттерін таңдау

Кесте 1

Выбор экспериментальных компонентов гумуса

Таблица 1

Samples	Soil	Coal (1,5 g per 1 kg soil)	Humic acid (1 g per 1 kg soil)
US (Untreated Soil): control	•		
TSH (Treated Soil with Humic acid)	•		•
TSC (Treated Soil with Coal)	•	•	

Table 2

Diversity index table

Кесте 2

Әртүрлілік индексінің кестесі

Таблица 2

Таблица показателей разнообразия

Sample\Estimators	OTUs	Shannon	Simpson	Ace	Chao
TSH	2469	6,492674	0,003631	3091,465	3105,099
TSC	2427	6,61453	0,00281	3032,746	2986,568
US	2569	6,656807	0,002719	3070,74	3069,026

considerable biotic elements transformations through the processes of assimilation and dissimilation, thereby maintaining the elemental equilibrium. Today, microbial modification of coal by means of composites seems to appear a perspective way for the production of high valuable products, including humic substances and biosurfactants.

The aim of the paper is to construct a composite based on Kazakhstani brown coal and microbial community (1) and to study the dynamics as well as structure of microbial populations present in biotransformed composite (2).

Methods and Materials

In the process of work the brown coals from Oi-Qaragai (Almaty region, Kazakhstan) and Lenger (Turkistan region, Kazakhstan) coal deposits were used. The extraction of humic acids were conducted according to [6, 7]. The metagenomic analysis was conducted usage of modern metagenomics techniques with the appliance of Illumina next-generation sequencing technology [8-10].

Results and Discussion

The brown coal from the Kazakhstani coal deposit and humic acid from this coal were selected as the main

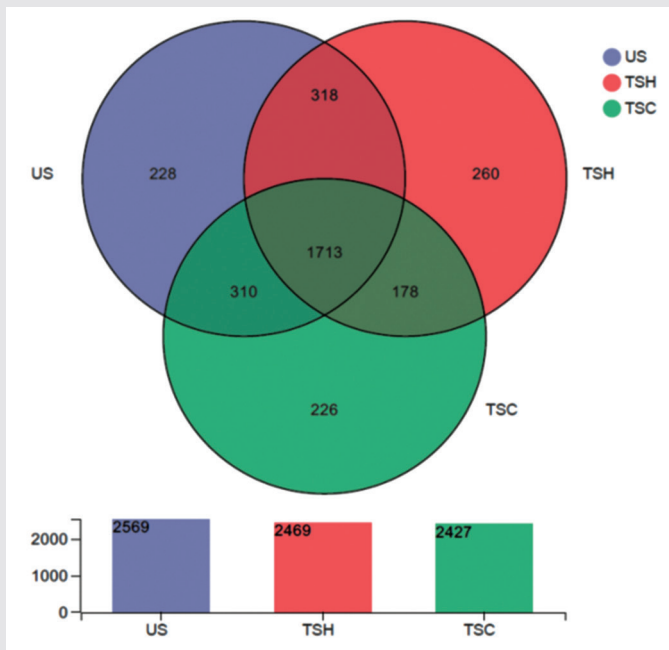


Figure 1. Venn diagram depicting shared and specific Operational Taxonomic Units (OTUs) among three samples.

Сурет 1. Венн диаграммасы үш үлгінің ішінде ортақ және нақты операциялық таксономиялық бірліктерді (OTU) бейнелейді.

Рис. 1. Диаграмма Венна, изображающая общие и конкретные оперативные таксономические единицы (OTU) среди трех выборок.

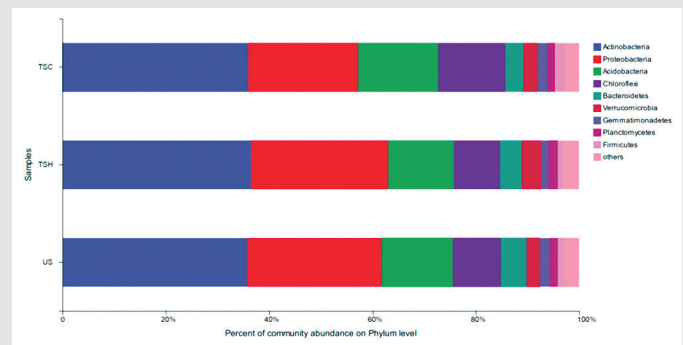


Figure 2. Community column chart depicts the relative abundance of different bacterial populations in three samples.

Сурет 2. Қауымдық бағаналық диаграммда үш үлгідегі әр түрлі бактериалды популяциялардың салыстырмалы көптігі көрсетілген.

Рис. 2. Столбчатая диаграмма сообщества показывает относительную численность различных популяций бактерий в трех образцах.

components for the production of composite based on mixed consortium. Thus, for the obtainment of experimental humus based on microbial consortium the following samples were selected (table 1).

Effects of coal and humic acid on the soil bacterial community. By comparing the indices, considering the

diversity and richness, the variabilities of microbial communities in soil samples were determined. All 16S sequences obtained from soil samples, including TSH, TSC and US are distributed in 7465 OTUs (Operational taxonomic units). Three samples of OTUs are 2469 (TSH), 2427 (TSC), and 2569 (US) (Table 2). Distinctly, 228 (US), 226 (TSC) and 260 (TSH) of total OTUs were distributed specifically, while 1713 OTUs were shared across all samples of soil. Totally, 310 OTUs between US and TSC, 178 OTUs between TSC and TSH, 318 OTUs between US and TSH were shared (Figure 1).

TSH, treated soil with humic acid; TSC, treated soil with coal; US, untreated soil: control.

The Shannon index illustrating microbial diversity in control was higher in comparison with TSH and TSC. The outcomes of Simpson index value showed a considerable decline in bacterial diversity in the TSH. The abundance-based coverage estimator (ACE) value demonstrated the highest abundance of species in the TSH and least in the TSC, while Chao concerning the estimation of richness, showed the highest value for TSH and the lowest value for TSC (Table 2).

Figure 2 illustrates the analysis of community column chart characterizing the influence of coal-derived products (TSH and TSC) on differentiation of bacterial communities in the rhizosphere. The five phylum such as Actinobacteria, Proteobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi,

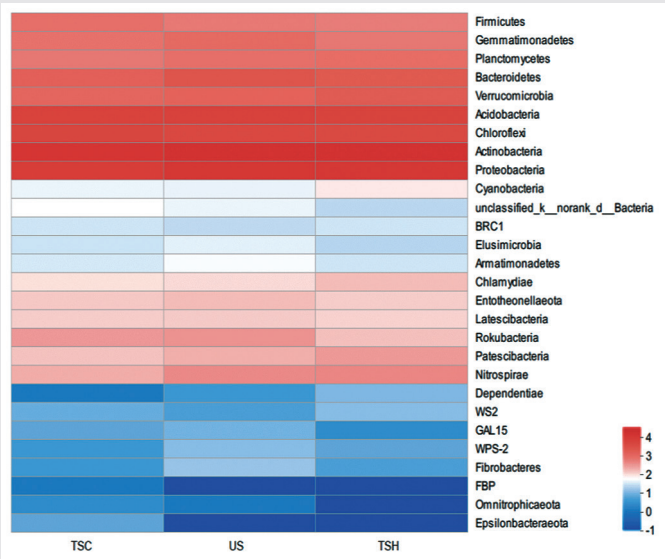


Figure 3. Community heatmap illustrating the changes in bacterial communities.

Сурет 3. Бактериялық қауымдастықтардағы өзгерістерді суреттейтін қауымдық жылу картасы.
Рис. 3. Тепловая карта бактериальных сообществ, иллюстрирующая изменения в них.

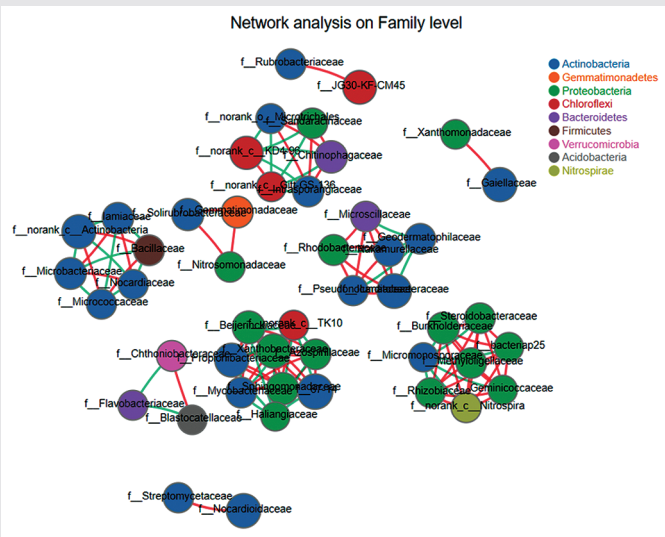


Figure 4. Results of network analysis of samples, illustrating the statistical correlations in terms of the number of families between samples.

Сурет 4. Статистикалық суреттерді көрсететін үлгілерді желілік талдау нәтижелері үлгілер арасындағы отбасылар санына байланысты.

Рис. 4. Результаты сетевого анализа образцов, иллюстрирующие статистические корреляции с точки зрения количества семейств между образцами.

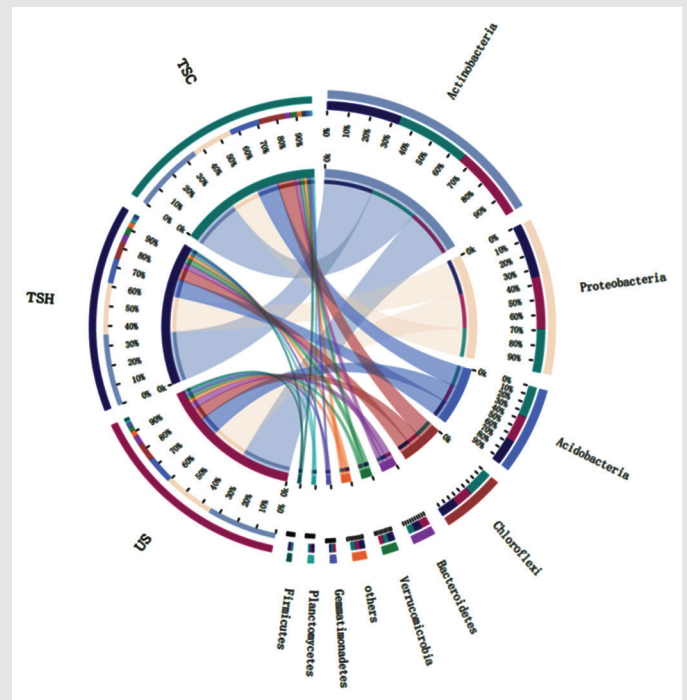


Figure 5. Circos diagram shows the abundance relationship between various bacterial communities and soil samples.

Сурет 5. Circos диаграммасы әртүрлі бактериялық қауымдастықтар мен топырақ үлгілері арасындағы көптік қатынасты көрсетеді.

Рис. 5. Диаграмма Circos показывает соотношение численности между различными бактериальными сообществами и образцами почвы.

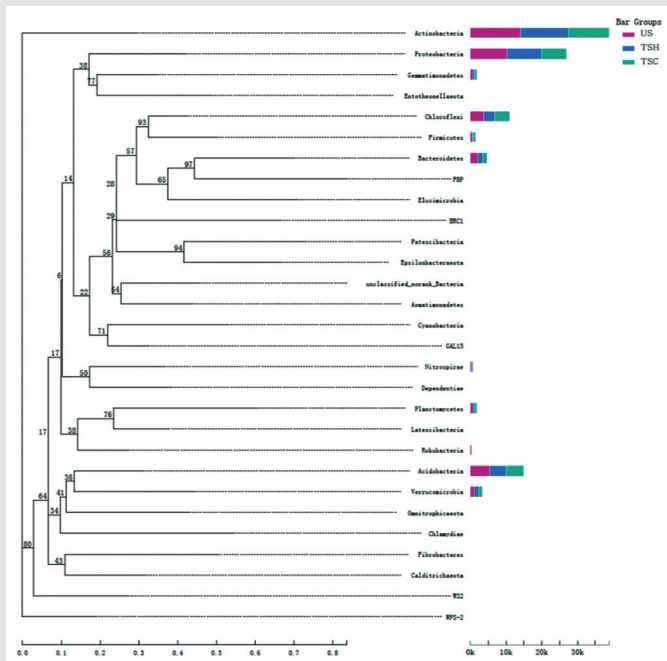


Figure 6. Phylogenetic tree on Phylum level.

Сурет 6. Филум кезеңінің филогенетикалық ағашы.

Рис. 6. Филогенетическое древо уровня Филума.

and Bacteroidetes were dominantly leading from all other samples. As it can be seen from the plot, the usage of coal-derived humic acids promoted slight changes to the populations of bacteria referring to the untreated soil.

Regarding to the TSC, bacterial communities has changed a bit differently. The population of Actinobacteria stayed almost constantly, while the communities of Proteobacteria, Acidobacteria and Chloroflexi undergone noticeable changes.

Presented in the Figure 3, the heatmap displayed considerable distinctions in the structure of 28 bacterial populations. As it can be clearly seen, the FBP Epsilonbacteraeota showed a significant increase when treated with coal (TSC), but did not affected by humic acid (TSH) with the respect to the control (US). However, Omnitrophicaeota showed a sudden decrease in the sample with humic acid (TSH). Additionally, WPS-2

and Fibrobacteres indicated to be decreased in the samples of TSC and TSH compared to the US (control).

For the visualization of statistical correlations in terms of the number of families between samples, the network analysis was used. As it is shown on the Figure 4, the mechanism of formation of phenotypes differentiations between samples have more complicated and ambiguous character.

The abundance relationship between various bacterial communities and soil samples such as TSH, TSC and US was projected using the Circos diagram (Figure 4).

Bacterial communities of all complexes formed predominantly by the phylum of Actinobacteria, Proteobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi, and Bacteroidetes (Figure 8). The largest share in microbial communities belongs to the Actinobacteria group (total share ~37%), often occupying the dominant position in soil microbiota, their ecological role frequently appears to be in the decomposition and synthesis of humic substances. A considerable share in communities of these complexes is next occupied by the group representatives of true symbionts such as Proteobacteria (~23%), Acidobacteria (~10%), Chloroflexi (~7%), and Bacteroidetes (~5%).

Conclusion

Despite the well-established role of microorganisms in the formation of humus from the oxidized brown coal and creation of agricultural drugs based on them for the application in agricultural production, yet the experimental data and studies in the scientific literature are insufficient. Consequently, the scientific researches performed in this field are actual. Based on the results of conducted researches the following conclusion has been made:

The consortium based on microbial community, brown coal and humic substances was constructed. In addition, the role of microorganisms in the formation of humus from brown coal components was studies.

As a result of comparative metagenomic analysis (16S rRNA) of consortiums samples, the conclusion was done about the presence of dominant phylums such as Actinobacteria (~37%), Proteobacteria (~23%), Acidobacteria (~10%), Chloroflexi (~7%), and Bacteroidetes (~5%), i.e. microbial groups that occupy the dominant position in soil microbiota and their ecological role frequently appears to be in the decomposition and synthesis of humic substances.

REFERENCES

1. Sihyun L., Sangdo K., Donghyuk C., Hokyung C., Jiho Y. *Upgrading and advanced cleaning technologies for low-rank coals.* – Duxford (UK): Woodhead Publishing, 2017. – P. 73-92. (in English)
2. Little, K.R., Rose, M.T., Jackson, W.R., Cavagnaro, T.R., Patti, A.F. *Do lignite-derived organic amendments improve early-stage pasture growth and key soil biological and physicochemical properties?* // *Crop Pasture Sci.* – 2014. – Vol. 65. – P. 899-910. (in English)
3. Schobert, H. *Introduction to low-rank coals: Types, resources, and current utilization.* – Duxford (UK): Woodhead Publishing, 2017. – P. 3-21. (in English)
4. Cubillos-Hinojosa J.G., Valero N., Peralta A. de J. *Effect of a low rank coal inoculated with coal solubilizing bacteria for the rehabilitation of a saline-sodic soil in field conditions.* // *Rev. Fac. Nac. Agron.* – 2017. – Vol. 70. – P. 8271-8272. (in English)
5. Huculak-Mączka M., Hoffmann J., Hoffmann K. *Evaluation of the possibilities of using humic acids obtained from lignite in the production of commercial fertilizers.* // *J. Soils Sediments.* – 2018. – Vol. 18. – P. 2868-2880. (in English)

6. Oulas A., Pavloundi C., Polymenakou P., Pavlopoulos G.A., Papanikolaou N., Kotoulas G. *Metagenomics: tools and insights for analyzing next-generation sequencing data derived from biodiversity studies*. // *Bioinform Biol Insights*. – 2015. – Vol. 5. – P. 75-88. (in English)
7. Delmont T.O., Robe P., Cecillon S., Clark I.M., Constancias F. *Accessing the soil metagenome for studies of microbial diversity* // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2011. – Vol. 77. – P. 1315-1324. (in English)
8. Vivas A., Moreno B., Garcia-Rodriguez S., Benitez E. *Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste*. // *Bioresource Technology*. – 2009. – V. 100. – P. 1319-1326. (in English)
9. Monroy F., Aira M., Dominguez J. *Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigeic earthworms (Oligochaeta)*. // *Applied Soil Ecology*. – 2008. – Vol. 39. – P. 127-132. (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Sihyun L., Sangdo K., Donghyuk C., Hokyung C, Jiho Y. Төмен сапалы көмірді тазарту және жетілдірудің жаңа технологиялары. – Duxford (UK): Woodhead Publishing, – 2017. – Б. 73-92. (ағылшын тілінде)
2. Little K.R., Rose M.T., Jackson W.R., Savagnaro T.R., Patti A.F. Лигниттен алынған органикалық түзетулер шабындықтардың ерте өсуін және топырақтың негізгі биологиялық және физика-химиялық қасиеттерін жақсарта ма? // *Crop Pasture Sci.* – 2014. – Шығ. 65. – Б. 899-910. (ағылшын тілінде)
3. Schobert H. Төмен сапалы көмірге кіріспе: түрлері, ресурстары және қазіргі утилизациясы. – Duxford (UK): Woodhead Publishing, 2017. – Б. 3-21. (ағылшын тілінде)
4. Cubillos-Hinojosa J.G., Valero N., Peralta A. Далалық жағдайда тұзды-тұзды топырақты қалпына келтіру үшін көмірді ерітетін бактериялармен егілген төмен дәрежелі көмірдің әсері. // *Rev. Fac. Nac. Agron.* – 2017. – Шығ. 70. – Б. 8271-8272. (ағылшын тілінде)
5. Nuculak-Maczka M., Hoffmann J., Hoffmann K. Лигниттен алынған гумин қышқылдарын коммерциялық тыңайтқыштар өндірісінде пайдалану мүмкіндіктерін бағалау. // *J. Soils Sediments*. – 2018. – Шығ. 18. – Б. 2868-2880. (ағылшын тілінде)
6. Oulas A., Pavloundi C., Polymenakou P., Pavlopoulos G.A., Papanikolaou N., Kotoulas G. *Метагеномика: биоалуантүрлілікті зерттеуден алынған кейінгі ұрпақтың жүйелілік деректерін талдауға арналған құралдар мен түсініктер*. // *Bioinform Biol Insights*. – 2015. – Шығ. 5. – Б. 75-88. (ағылшын тілінде)
7. Delmont T.O., Robe P., Cecillon S., Clark I.M., Constancias F. *Микробтардың әртүрлілігін зерттеу үшін топырақ метагеномасына қол жеткізу* // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2011. – Vol. 77. – P. 1315-1324. (ағылшын тілінде)
8. Vivas A., Moreno B., Garcia-Rodriguez S., Benitez E. *Компостинг пен вермикостатингтің бактериялық қауымдастықтың мөлшері мен құрылымына, зәйтүн диірмендерінің қалдықтарының микробтардың функционалды әртүрлілігіне баға беру*. // *Bioresource Technology*. – 2009. – Шығ. 100. – Б. 1319-1326. (ағылшын тілінде)
9. Monroy F., Aira M., Dominguez J. *Төрт эпейгеикалық құрттардың ішектері арқылы транзиттен кейін нематодтардың, протозойдтардың және жалпы колиформалардың тығыздығы өзгерістері (Олигочаета)*. // *Applied Soil Ecology*. – 2008. – Шығ. 39. – Б. 127-132. (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sihyun L., Sangdo K., Donghyuk C., Hokyung C, Jiho Y. *Модернизация и усовершенствованные технологии очистки низкосортных углей*. – Duxford (UK): Woodhead Publishing, – 2017. – С. 73-92. (на английском языке)
2. Little, K.R., Rose, M.T., Jackson, W.R., Savagnaro, T.R., Patti, A.F. *Улучшают ли органические поправки, полученные из лигнита, рост пастбищ на ранней стадии и ключевые биологические и физико-химические свойства почвы?* // *Crop Pasture Sci.* – 2014. – Вып. 65. – С. 899-910. (на английском языке)
3. Schobert, H. *Введение в низкосортные угли: типы, ресурсы и текущее использование*. – Duxford (UK): Woodhead Publishing, 2017. – С. 3-21. (на английском языке)

4. Cubillos-Hinojosa J.G., Valero N., Peralta A. de J. Влияние низкосортного угля, инокулированного солюбилизирующими углем бактериями, для восстановления солончаковой почвы в полевых условиях. // *Rev. Fac. Nac. Agron.* – 2017. – Вып. 70. – С. 8271-8272. (на английском языке)
5. Huculak-Mączka M., Hoffmann J., Hoffmann K. Оценка возможностей использования гуминовых кислот, полученных из лигнита, в производстве промышленных удобрений. // *J. Soils Sediments.* – 2018. – Вып. 18. – С. 2868-2880. (на английском языке)
6. Oulas A., Pavludi C., Polymenakou P., Pavlopoulos G.A., Papanikolaou N., Kotoulas G. Метагеномика: инструменты и идеи для анализа данных секвенирования следующего поколения, полученных из исследований биоразнообразия. // *Bioinform Biol Insights.* – 2015. – Вып. 5. – С. 75-88. (на английском языке)
7. Delmont T.O., Robe P., Cecillon S., Clark I.M., Constancias F. Доступ к метагеному почвы для изучения микробного разнообразия. // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2011. – Вып. 77. – С. 1315-1324. (на английском языке)
8. Vivas A., Moreno B., Garcia-Rodriguez S., Benitez E. Оценка влияния компостирования и вермикомпостирования на размер и структуру бактериальных сообществ, а также на функциональное разнообразие микробов отходов оливкового завода. // *Bioresource Technology.* – 2009. – Вып. 100. – С. 1319-1326. (на английском языке)
9. Monroy F., Aira M., Dominguez J. Изменения плотности нематод, простейших и тотальных колиформ после прохождения через кишку четырех эпигейных дождевых червей (*Олигохета*). // *Applied Soil Ecology.* - 2008. V.3 9. P. 127 – 132 p. (на английском языке)

Information about the authors:

Akimbekov N.Sh., Postdoctoral Researcher, PhD, Leading Researcher of the Scientific Research Institute of Biology and Biotechnology Issues (Almaty, Kazakhstan), akimbeknur@gmail.com

Tastambek K.T., PhD Student, Researcher of the Scientific Research Institute of Ecological Problems (Almaty, Kazakhstan), tastambeku@gmail.com

Sherelkhan D.K., Junior Researcher of the Scientific Research Institute of Biology and Biotechnology Issues (Almaty, Kazakhstan), sherelkhandinara@gmail.com

Berdikulov B.T., Junior Researcher of the Scientific Research Institute of Ecological Problems (Almaty, Kazakhstan), bertalbek@gmail.com

Авторлар туралы мәлімет:

Акимбеков Н.Ш., постдокторант – ғылыми қызметкер, PhD, биология және биотехнология мәселелері Ғылыми зерттеу институтының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), akimbeknur@gmail.com

Тастамбек Қ.Т., PhD студент, экология мәселелері Ғылыми зерттеу институтының ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), tastambeku@gmail.com

Шерелхан Д.К., биология және биотехнология мәселелері Ғылыми зерттеу институтының кіші ғылыми қызметкері, (Алматы қ., Қазақстан), sherelkhandinara@gmail.com

Бердіқұлов Б.Т., экология мәселелері Ғылыми зерттеу институтының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), bertalbek@gmail.com

Сведения об авторах:

Акимбеков Н.Ш., постдокторант – научный сотрудник, PhD, ведущий научный сотрудник Научного исследовательского института проблем биологии и биотехнологии (г. Алматы, Казахстан), akimbeknur@gmail.com

Тастамбек Қ.Т., PhD студент, научный сотрудник Научного исследовательского института проблем экологии (г. Алматы, Казахстан), tastambeku@gmail.com

Шерелхан Д.К., младший научный сотрудник Научного исследовательского института проблем биологии и биотехнологии (г. Алматы, Казахстан), sherelkhandinara@gmail.com

Бердіқұлов Б.Т., младший научный сотрудник Научного исследовательского института проблем экологии (г. Алматы, Казахстан), bertalbek@gmail.com

Код МРНТИ 53.03.05

А.К. Абишева¹, А.Х. Акишев², С.М. Фоменко², С. Толендыулы²¹Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (г. Алматы, Казахстан),
²Институт проблем горения (г. Алматы, Казахстан)

ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ТЕРМООБРАЗОВАНИЙ СУЛЬФАТ-МАГНИЕВЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА СПЕКАНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ МАСС

Аннотация. Термодиффузионные процессы огнеупорных материалов и их активация в значительной степени зависят от образования в структуре огнеупора плотных межконтактных соединений, которые в процессе обжига незначительно разупрочняются и не теряют прочности. Такими материалами являются связующие компоненты, при обжиге которых образуются высокодисперсные аморфные наноразмерные частицы. Для периклазовых материалов характерны связующие на основе солей магния. В данной статье приведены исследования сернокислотных и сульфат-магневых связующих при концентрации 5-30% объема и термообработке в режиме сушки 100-500°C и обжиге при 600-1400°C. На начальную прочность изделий реакционного сульфата магния, образованного из серной кислоты, до 500°C влияют образовавшиеся соли из примесей периклаза и их соединений со свободным оксидом магния. Установлены оптимальные концентрации сернокислотных и сульфат-магневых связующих с незначительными значениями снижения прочности изделий при обжиге.

Ключевые слова: огнеупорная масса, структура, зерновой состав, начальная прочность, шихта, начальная стадия, процесс, разложение, аморфизация, диспергация, кристаллы, термообработка.

Химиялық процестер мен жоғары дисперсті түзілімдер сульфат-магнийлі байланыстырғыштардың отқа төзімді масса пісуіне әсері

Андатпа. Отқа төзімді материалдардың термодиффузиялық процестері мен олардың белсендірілуі, күйдіру нәтижесінде тығыздалып, беріктілігін жоғалтпайтын отқа төзімді материал құрылымында тығыз байланыс аралық қосылыстардың түзілуіне байланысты. Осындай материалдарға күйдірген уақытта жоғары дисперсті аморфты наноөлшемді бөлшектер түзетін байланыстырғыш компоненттер жатады. Периклазды материалдарға магний тұзы негізіндегі байланыстырғыштар жатады. Осы мақалада күкірт қышқылдық және сульфат-магнийлі байланыстырғыштардың 5-30% көлемді концентрациясы мен кептіру 100-500°C және күйдіру 600-1400°C кезіндегі термоөңдеу режиміндегі зерттеулер келтірілген. 500°C-қа дейінгі күкірт қышқылынан түзілген реакциялық магний сульфаты негізіндегі бастапқы бұйым беріктігіне периклаз қоспасынан түзілген тұздар және олардың бос магний оксидті қосылыстары әсер етеді. Күкірт қышқылдық және сульфат-магнийлі байланыстырғыштардың күйдіру кезіндегі бұйым беріктілігінің шамалы төмен мәндерімен оңтайлы концентрациясы белгіленді.

Түйінді сөздер: отқа төзімді масса, құрылым, дәнді құрам, бастапқы беріктігі, шихта, бастапқы сатысы, процесс, ыдырау, аморфизация, диспергация, кристалдар, термоөңдеу.

Chemical processes and influence of high-dispersion thermal formations of sulfat-magnesium binders on the sining of refractory masses

Abstract. The thermal diffusion processes of refractory materials and their activation largely depend on the formation of dense intercontact compounds in the structure of the refractory, which, during the firing process, slightly soften and do not lose strength. Such materials are binder components, upon firing of which highly dispersed amorphous nanosized particles are formed. For periclase materials include binders based on magnesium salts. This article presents studies of sulfuric acid and sulfate-magnesium binders at a concentration of 5-30% volume and heat treatment in the drying mode of 100-500°C and firing at 600-1400°C. The initial strength of the products of reactive magnesium sulfate formed from sulfuric acid up to 500°C is influenced by the formed salts from periclase impurities and their compounds with free magnesium oxide. The optimal concentrations of sulfuric acid and sulfate-magnesium binders with insignificant values of decrease in strength of products during firing.

Key words: refractory mass, structure, grain composition, initial strength, charge, initial stage, process, decomposition, amorphization, dispersion, crystals, heat treatment.

Введение

Структура огнеупорных изделий определяется составляющими компонентами шихты, их фазовым и зерновым составом, а ее формирование определяется начальной стадией процесса медленного термонагрева и последующего ее обжига при высокой температуре¹. Составляющими шихту изделий являются грубозернистые материалы, увлажненные связующими из органических или неорганических веществ².

Рядом исследований установлено, что на процессы спекания значительное влияние оказывают обменные взаимодействия фаз и их дисперсность [1], ускоряющие синтез оксидов из связующих гидратных соединений³.

Показано [2], что химические соединения, распавшиеся в процессе термообработки, ускоряют фазообразование и процессы спекания изделий [3] в результате аморфизации частиц материала.

Установлено [4-7], что при разложении соединений магния наблюдается высокая диспергация с образованием аморфного оксида магния, который, проходя стадии термообработки, формирует появление кристаллов периклаза с микроискаженной решеткой, позволяющей снижать конечную температуру обжига изделий.

Методы исследования, результаты

Целью исследования является выяснение влияния привнесенных в шихту масс водных растворов сульфата магния, а также образованных в процессе реакции соединений оксида магния со связующими растворами серной кислоты различных концентраций от 5% до 30%. В качестве оксида магния использовали порошки периклаза, полученные дроблением периклазовых обожженных изделий. Периклазовые порошки содержали 94% оксида магния, остальное приходилось на примеси оксидов кремния, кальция, железа.

¹Стрелов К.К., Кащеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: 1996. – 280 с.

²Кащеев И.Д. Свойства и применение огнеупоров: справочное издание. – М.: Теплотехник, 2004. – 252 с.

³Айлер Р. Химия кремнезема. – М.: Мир, 1989. – 128 с.

Фракционный состав тонкомолотых порошков был представлен в виде дисперсных кристаллических зерен размером менее 0,063 мм. Для исследования тонкомолотые периклазовые порошки раздельно увлажняли с предварительно приготовленными растворами, в первом варианте связующими растворами служили (вес, %) сернокислотные составы в концентрации от 5% до 30%, а по второму варианту – растворы (также от 5% до 30%) сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Влажность масс составляла от 8% до 15% в зависимости от концентрации и химического состава связующего. Исследования показали, что приготовление масс на растворах серной кислоты и сульфата магния различаются, что связано с их способностью реагирования с периклазовым материалом.

Растворы серной кислоты обладают способностью вступать в химическую реакцию с компонентами периклазовых порошков с образованием, кроме сульфата магния, сульфата кальция, железа и гелей кремнезема. В результате этого происходит быстрое поглощение серной кислоты из растворов, высушивание и комкование масс, которое приводит к увеличению их расхода. С увеличением концентрации повышается реакционная способность растворов и в каждом конкретном случае устанавливается заданное ее количество.

Растворы сульфата магния не вступают в химическую реакцию с оксидом магния и примесями периклазовых порошков и влажность масс в среднем составляла 8%. Массы закладывали в матрицу прессформ и прессовали при давлении 20 МПа. Затем полученные изделия сушили при комнатной температуре в течение суток, а затем подвергали термообработке при низкой температуре (в режиме сушки) при 100°C, 300°C и 500°C, а затем обжигу при 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C ± 400°C с 2-часовой выдержкой при конечной температуре. По окончании термообработки и обжига определяли предел прочности при сжатии на изделиях с заданными температурами их обработки, а также изменение их фазового состава при различных концентрациях сульфата магния и серной кислоты. На рис. 1 приведено изменение прочности изделий при термообработке в режиме сушки при 100°C, 300°C и 500°C на связующих растворах серной кислоты (массы 1, 2, 3) и растворах сульфата магния (массы 4, 5, 6).

Исследование прочностных характеристик изделий (рис. 1) показало, что с повышением температуры термообработки от 100°C до 500°C механические показатели изделий снижаются. С повышением концентрации растворов устанавливается пик оптимальных значений с постепенным снижением, сопровождающимся падением прочности изделий. Массы, содержащие сернокислотное связующее (массы 1, 2, 3), показывают, что при 100°C с повышением ее концентрации от 5% до 20% прочность повышается, достигая пика, а затем снижается до 12 МПа при концентрации кислоты 25-30%. С повышением температуры до 300-500°C прочность не поднимается выше 10 МПа при концентрации 16-18% серной кислоты, и она продолжает снижаться с увеличением количества кислоты в массе материала.

При добавлении в периклазовые изделия связующих растворов на основе сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), как видно на рис. 1, и повышении их концентрации (15-23%) прочность огнеупора увеличивается, достигая оптимального значения 34 МПа при 100°C; 27 МПа при 300°C и 22 МПа при 500°C. Дальнейшее повышение содержания (более 25%) сульфата магния в составе масс приводит к резкому снижению прочности изделий. Эти исследования показывают различия химических процессов, происходящих в материалах, в состав которых входят сульфаты магния по природе их образования в результате реакции оксида магния с серной кислотой (реакционный сульфат магния) и готовой соли природного сульфата магния. Химический и рентгенофазовый анализ показал, что в реакционном сульфате магния дополнительно содержатся соли кальция, железа и их соединения со свободным оксидом магния, не прореагировавшим с кислотой. В массе наблюдаются парные соединения сульфатов и оксида магния, которые, разлагаясь при термообработке, разупрочняют материал.

Напротив, привнесенный в виде водного раствора природный сульфат магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), равномерно распределяясь в составе массы материала, при термообработке значительно меньше разрушает межзерновые связи скрепленных частиц. Поэтому при содержании сульфата магния в среднем 17% в массе изделий поддерживается оптимальная прочность 22-34 МПа, которая позволяет с повышением температуры при обжиге снизить значительные показатели разупрочнения огнеупоров, а это, в свою очередь, смещает температурный порог начала диффузионных процессов при спекании изделий в сторону снижения температур обжига на 300-500°C.

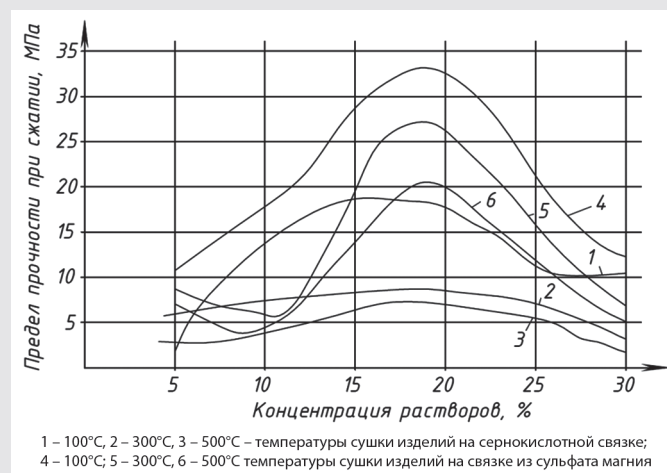


Рис. 1. Влияние концентрации связующих компонентов и температуры нагрева изделий на изменение их прочностных характеристик.

Сурет 1. Байланыстырғыш компоненттер концентрациясы мен бұйымдардың қыздыру температурасына беріктік сипаттамаларының өзгеру әсері.

Figure 1. The effect of the concentration of the binder components and the temperature of the heating products on the change in their strength characteristics.

Свойства огнеупоров на связующих из серной кислоты и сульфата магния при повышении температуры до 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C и 1400°C приведены на рис. 2. На графической зависимости в координатах «температура обжига – предел прочности при сжатии» и полученных кривых при различных концентрациях (от 5% до 25%) связующих растворов реакционной серной кислоты и условно нейтрального к массе материала сульфата магния показаны изменения механических свойств периклазового материала, которые связаны с химическими процессами их взаимодействия.

В массах, содержащих связующие из серной кислоты (кривые 1, 2, 4) видно, что с повышением температуры обжига прочность постепенно увеличивается, но незначительно, в пределах 5-12 МПа. Причем при добавке в шихту связующего с концентрацией 25% прочность резко снижается до 7 МПа. При концентрации сернокислого раствора в массе 15% прочность практически равномерно растет с повышением температуры (кривая 3, рис. 2) и достигает 45 МПа. Это объясняется

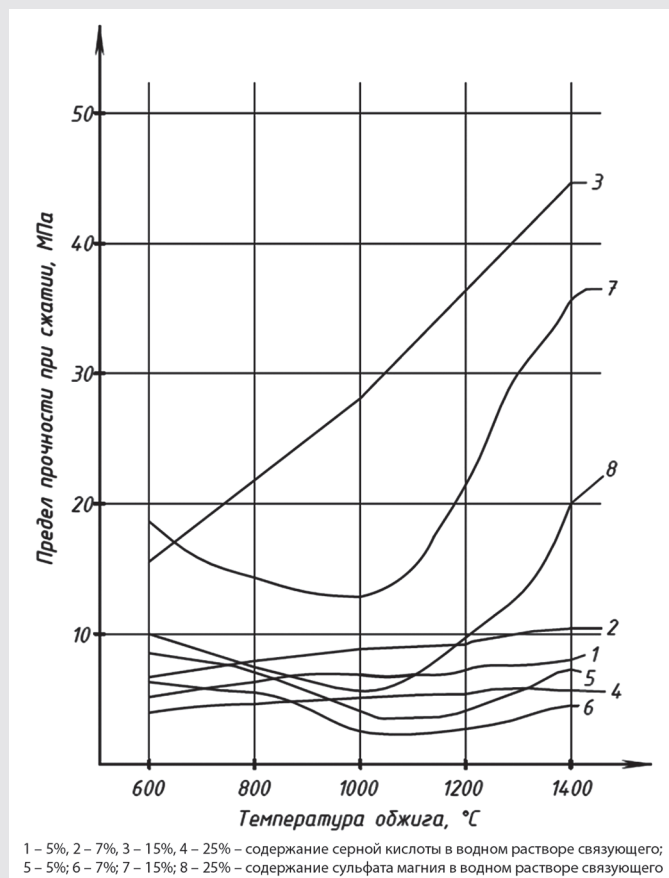


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии периклазовых изделий от температуры обжига и концентраций связующих компонентов.

Сурет 2. Периклаз бұйымдарын қысқан кездегі беріктілік шегі мен күйдіру температурасына және байланыстыратын компоненттер концентрациясына тәуелділігі.

Figure 2. The dependence of the compressive strength of periclase products on the firing temperature and the concentration of the binder components.

реакционной способностью связующего и образованием оптимального количества сульфатсодержащих соединений; в начале процесса наблюдается образование аморфных веществ в виде оксидов и промежуточных продуктов распада, представляющих собой группу высокоактивных наноразмерных частиц (размером менее 10 нм). Наноразмерные частицы, распределяясь в межзерновом промежутке, структурно цементируют контакты соприкасающихся зерен материала.

При низких концентрациях группы выстилающих наночастиц распределяются точечно между зернами материала из-за их недостаточного количества. Наоборот, при повышении концентрации (более 25%), группа выстилающих наночастиц, распределяясь между зернами, нарушает прочность сцепления и их взаимодействие. Из графика (рис. 2) видно, что оптимальным является применение сернокислотных связующих в пределах 15%.

Исследование масс, в которых в качестве связующих использовали водный раствор сульфата магния, показал (кривые 5, 6, 7, 8), что на прочность огнеупора при спекании изделий на основе оксида магния также значительное влияние оказывает количество распадающихся соединений и промежуточных веществ в межзерновом контакте периклазового материала в виде высокодисперсных наноразмерных частиц. Это показано на кривых (рис. 2), из которых видно, что оптимальная концентрация раствора сульфата магния – 15%. Прочность изделий при обжиге на 1400°C составила, соответственно: при 5% – 9 МПа; 7% – 6 МПа; 15% – 38 МПа; 25% – 22 МПа. Однако следует заметить, что при температурах 600-1050°C наблюдается спад – прогиб кривых прочности, который связан с разложением сульфата магния на составляющие: газовую фазу сернистых соединений и нанодисперсный аморфный оксид магния, который при обжиге способствует спеканию и повышению прочности огнеупора.

Обсуждение результатов

Исследование связующих, содержащих сульфат-магниевые вещества и их соединения, показывают, что их можно использовать при разработке мертелей, торкрет-масс, различных обзакотков и изделий, получаемых пресованием или набивкой их при футеровке ячеистых поверхностей высокотемпературных установок.

Исследовано влияние сернокислотных и сульфат-магниевых водных связующих различной концентрации (5-30% объема) на изменение прочности периклазовых материалов при температурах 100-500°C (в режиме сушки изделий). Показано, что прочность масс, содержащих сернокислотные связующие, с повышением концентрации от 5% до 20% серной кислоты при 100°C повышается до 20 МПа, а затем снижается до 12 МПа при 30%-м ее содержании. При 300-500°C прочность изделий значительно уменьшается до 3-5 МПа.

Установлено, что на начальную прочность изделий реакционного сульфата магния, образованного из серной кислоты, до 500°C влияют образовавшиеся соли из примесей периклаза и их соединений со свободным оксидом магния.

Сульфат-магниевого связующие при концентрации 15-23% увеличивают прочность огнеупора: при 100°C – 34 МПа, 300°C – 27 МПа и 500°C – 22 МПа. Установлено, что усредненное (17%) содержание в связующем материале сульфата магния позволяет сместить температурный порог начала диффузионных процессов спекания в сторону снижения температуры обжига на 300-500°C.

Показано, что при температурах обжига 600-1400°C для связующих из серной кислоты и сульфата магния устанавливается оптимальная их концентрация 15% объема, которая объясняется образованием аморфных веществ в виде оксидов и промежуточных продуктов их распада, представляющих собой группу высокоактивных наноразмерных частиц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козловский Е.А., Даукеев С.Ж. Минерально-сырьевые ресурсы России и Казахстана – основа взаимовыгодного сотрудничества. // *Промышленные ведомости*. – 2003. – №9-10. – С. 64-65. (на русском языке)
2. Гайшук В.Е., Матюха С.Л. и др. Разработка неорганических добавок для введения в состав связующего плит теплоизоляционных на основе базальтовых волокон. // *Новости науки и технологий*. – 2007. – №2(6). – С.122-126. (на русском языке)
3. Абишева А.К., Акишев А.Х. и др. Исследование прочности периклазовых образцов с кислотами и их солями для получения высокотемпературных материалов. // *Труды III Международной межвузовской научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения»*. – Бишкек, 2015 (19-20 мая). – №2(9). – С. 175-177. (на русском языке)
4. Абишева А.К., Акишев А.Х. Исследование кинетики спекания хромитопериклазовых, магнезиальных огнеупоров в водных растворах серной кислоты и сульфата магния. // *Труды Международных Сатпаевских чтений «Научное наследие Шахмардана Есенова»*. – Алматы, 2017. – С. 1137-1140. (на русском языке)
5. Анциферова И.В., Кульметьева В.Б. и др. Механическая активация ультрадисперсных порошков оксида алюминия и свойства корундовой керамики. // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2010. – №1. – С. 77-82. (на русском языке)
6. Прохоров И.Ю., Акимов Г.Я. и др. Технология и перспектива катионных электролитов на основе бета-глиноземов. // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2010. – №1. – С. 64-65. (на русском языке)
7. Седмале Г.П., Хмелев А.В., Шнерберг И.Э. Влияние дисперсности керамических порошков на свойства муллито-ZrO₂ керамики. // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2010. – №2. – С. 41-45. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Козловский Е.А., Даукеев С.Ж. Минералды-шикізат ресурстары Ресей мен Қазақстанның негізі – өзара тиімді ынтымақтастық. // *Өнеркәсіп жаршысы*. – 2003. – №9-10. – Б. 64-65. (орыс тілінде)
2. Гайшук В.Е., Матюха С.Л. және т. б. Базальттық талшықтар негізінде жылу оқшаулағыш плиталар құрамына қосатын бейорганикалық қоспаларды әзірлеу. // *Жаңалықтар ғылым және технологиялар*. – 2007. – №2(6). – Б. 122-126. (орыс тілінде)
3. Абишева А.К., Акишев А.Х. және т.б. Жоғары температуралы материалдар алуға арналған қышқыл және олардың тұздары негізіндегі периклаз үлгілерінің беріктілігін зерттеу. // *Студенттер мен жас ғалымдардың ғылыми баяндамалары III Халықаралық ЖОО-аралық ғылыми-тәжірибелік конференция еңбектері «Инновациялық технологиялар мен озық шешімдер»*. – Бишкек, 2015 (19-20 мамыр). – №2(9). – Б. 175-177. (орыс тілінде)
4. Абишева А.К., Акишев А.Х. Күкірт қышқылы мен магний сульфатының сулы ерітінділеріндегі хромитопериклазды, магнезиалды отқа төзімді заттардың күйдіру кинетикасын зерттеу. // *Халықаралық Сәтбаев оқуларының еңбектері «Шахмардан Есеновтың ғылыми мұрасы»*. – Алматы, 2017. – Б. 1137-1140. (орыс тілінде)
5. Анциферова И.В., Кульметьева В.Б. және т.б. Алюминий оксиді ультрадисперсті ұнтағының механикалық активациясы және корунд керамика қасиеттері. // *Отқа төзімділер және техникалық керамика*. – 2010. – №1. – Б. 77-82. (орыс тілінде)
6. Прохоров И.Ю., Акимов Г.Я. және т.б. Бета-глинозем негізіндегі катионды электролиттердің технологиялары мен перспективалары. // *Отқа төзімділер және техникалық керамика*. – 2010. – №1. – Б. 64-65. (орыс тілінде)

7. Седмале Г.П., Хмелев А.В., Шнерберг И.Э. Керамикалық ұнтақ дисперстілігінің муллито-ZrO₂ қасиеттеріне әсері. // Отқа төзімділер және техникалық керамика. – 2010. – №2. – Б. 41-45. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Kozlovsky E.A., Daukeev S.Zh. Mineral resources of Russia and Kazakhstan are the basis of mutually beneficial cooperation. // Industry statements. – 2003. – №9-10. – P. 64-65. (in Russian)
2. Gayshuk V.E., Matyukha S.L. et al. Development of inorganic additives for the introduction of heat-insulating binder plates based on basalt fibers into the composition of the binder. // Science and Technology News. – 2007. – №2(6). – P. 122-126. (in Russian)
3. Abisheva A.K., Akishev A.Kh. and others. The study of the strength of periclase samples with acids and their salts to obtain high-temperature materials. // Transactions of the International Inter-University Scientific and Practical Conference and Competition for Scientific Reports of Students and Young Scientists «Innovative technology and advanced solutions». – Bishkek, 2015 (May 19-20). – №2(9). – P. 175-177. (in Russian)
4. Abisheva A.K., Akishev A.Kh. Study of the kinetics of sintering of chromite-periclase, magnesian refractories in aqueous solutions of sulfuric acid and magnesium sulfate. // Proceedings of the International Satpayev Readings «The Scientific Heritage of Shahmardan Yesenov». – Almaty, 2017. – P. 1137-1140. (in Russian)
5. Antsiferova I.V., Kulmetieva V.B. et al. Mechanical activation of ultrafine alumina powders and properties of corundum ceramics. // Refractories and Technical Ceramics. – 2010. – №1. – P. 77-82. (in Russian)
6. Prokhorov I.Yu., Akimov G.Ya. et al. Technology and prospect of cationic electrolytes based on beta-alumina. // Refractories and technical ceramics. – 2010. – №1. – P. 64-65. (in Russian)
7. Sedmale G.P., Khmelev A.V., Shnerberg I.E. The effect of dispersion of ceramic powders on the properties of mullite-ZrO₂ ceramics. // Refractories and technical ceramics. – 2010. – №2. – P. 41-45. (in English)

Сведения об авторах:

Абишева А.К., канд. хим. наук, доцент, ассистент-профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и Экология» Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (г. Алматы, Казахстан), abisheva.ak@mail.ru

Акишев А.Х., канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории СВС – новых материалов Института проблем горения (г. Алматы, Казахстан), adilak1943@gmail.com

Фоменко С.М., канд. хим. наук, заведующий лабораторией СВС – новых материалов Института проблем горения, (г. Алматы, Казахстан), exotherm@yandex.kz

Толендиұлы С., PhD, старший научный сотрудник СВС – новых материалов Института проблем горения, (г. Алматы, Казахстан), sanat_tolendiuly@mail.ru

Авторлар туралы мәлімет:

Абишева А.К., химия ғылымдарының кандидаты, доцент, ассистент-профессор, «Өміртіршілік қауіпсіздігі және Экология» кафедрасы, М. Тынышпаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы (Алматы қ., Қазақстан), abisheva.ak@mail.ru

Акишев А.Х., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, жетекші ғылыми қызметкер, ӨТС – жаңа материалдар зертханасы, Жану проблемалары институты (Алматы қ., Қазақстан), adilak1943@gmail.com

Фоменко С.М., химия ғылымдарының кандидаты, ӨТС – жаңа материалдар зертханасының меңгерушісі, Жану проблемалары институты (Алматы қ., Қазақстан), exotherm@yandex.kz

Толендиұлы С., PhD, аға ғылыми қызметкер, ӨТС – жаңа материалдар зертханасы, Жану проблемалары институты, (Алматы қ., Қазақстан), sanat_tolendiuly@mail.ru

Information about the authors:

Abisheva A.K., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor at the Department of Life Safety and Ecology of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshtayev (Almaty, Kazakhstan), abisheva.ak@mail.ru

Akishev A.Kh., Candidate of Technical Science, Associate Professor, Leading Researcher at the SHS Laboratory of New Materials of the Institute for Combustion Problems (Almaty, Kazakhstan), adilak1943@gmail.com

Fomenko S.M., Candidate of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of SHS – New Materials of the Institute for Combustion Problems (Almaty, Kazakhstan), exotherm@yandex.kz

Tolendiuly S., PhD, Senior Researcher at the SHS – New Materials of the Institute for Combustion Problems (Almaty, Kazakhstan), sanat_tolendiuly@mail.ru

Код МРНТИ 52.35.29

Н.А. Дрижд, Н.М. Замалиев, А.Ж. Даулетжанов, Ж.Т. Даулетжанова

Карагандинский государственный технический университет (г. Караганда, Казахстан)

ПРОФИЛАКТИКА САМОВОЗГОРАНИЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ

Аннотация. Данная работа посвящена обзору факторов самовозгорания угля и методам профилактики этого явления. Несмотря на достаточно богатую научную разработанность этой проблемы, по-прежнему, подземные пожары происходят с высокой частотой, нанося большие убытки угледобывающим предприятиям. Целью данной статьи является обзор причин и процессов эндогенных пожаров при ведении подземных горных работ. Произведена попытка классификации и обобщения предвестников и причин эндогенных пожаров при вскрытии и разработки угольных шахт. Приведены схемы процессов окисления угля. Рассмотрены и обоснованы факторы с помощью кинетических закономерностей и формул. Предложена эффективная мера профилактики возникновения пожаров в горных выработках.

Ключевые слова: уголь, твердое топливо, эндогенные пожары, факторы самовозгорания, закладочный материал, выработанное пространство, антипирогены.

Көмір жер асты өндірісі кезіндегі тау-кен қазындыларында өздігінен жанудың алдын-алуы

Аңдатпа. Бұл мақала көмірдің өздігінен жану факторларын және осы құбылыстың алдын-алу әдістерін қарастыруға арналған. Бұл мәселенің өте бай ғылыми әзірленгеніне қарамастан, бұрынғыдай көмір шахталарында үлкен шығындарға алып келетін жоғары жиіліктегі жер асты өрттері орын алуда. Бұл мақаланың мақсаты - жерасты кешені кезінде пайда болатын эндогенді өрттің себептері мен процестерін қарастыру. Көмір шахталарын ашу және игеру кезіндегі эндогендік өрттің себептері мен себептерін жіктеу және жалпылау әрекеті жасалды. Көмірді тотықтыру процестерінің схемалары келтірілген. Кинетикалық заңдар мен формулалар бойынша факторлар қарастырылған және негізделген. Кен қазбаларында өрттің алдын алуы тиімді шарасы ұсынылған.

Түйінді сөздер: көмір, қатты отын, эндогендік өрт, өздігінен жану факторлары, толтырғыш материал, таусылған кеңістік, жалынның тежегіштері.

Prevention of self-combustion in mine workings at underground coal mining

Abstract. This article is devoted to a review of the factors of spontaneous combustion of coal and methods for the prevention of this phenomenon. Despite the rather rich scientific elaboration of this problem, underground fires continue to occur with a high frequency, causing large losses to coal mines. The purpose of this article is to review the causes and processes of endogenous fires during underground mining. There is an attempt to classify and generalize the precursors and causes of endogenous fires during the opening and development of coalmines. Authors consider and sustain schemes of coal oxidation processes are given. Factors by kinetic laws and formulas. There is a proposal of an effective measure for the prevention of fires in mine workings.

Key words: coal, solid fuel, endogenous fires, spontaneous combustion factors, filling material, exhausted space, underground mining, flame-retardants, kinetic laws, prevention of fires.

Введение

Уголь на сегодняшний день остается основным энергоресурсом в экономике Республики Казахстан, на его долю приходится 50% потребления в энергетической сфере страны. При этом значительную долю угля добывают подземным способом¹.

Несмотря на современную технологическую разработанность, подземная добыча по-прежнему является чрезвычайно опасной деятельностью, связанной с тектоническими, геологическими и технологическими процессами. К основным опасностям можно отнести обрушение кровли, взрывные работы, внезапные выбросы и подземные пожары, вызванные в большинстве случаев самовозгоранием угля.

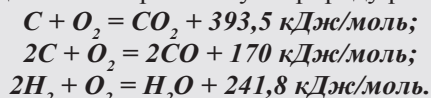
Эндогенные пожары наносят значительный ущерб экономике предприятий и окружающей среде. При самовозгорании угля сжигается большое количество угольных ресурсов, снижается его теплотворная способность и, как результат, выбрасывается существенное количество токсичных и парниковых газов. На самовозгорание угля приходится более 90% от общего числа пожаров. По неполным статистическим данным за период с 2001 г. по 2014 г. в Китае было зарегистрировано около 32 случаев взрыва газа или пожара в подземных угольных шахтах, приведших к гибели 614 человек, а за историю эксплуатации Карагандинского

угольного бассейна зарегистрировано около 170 случаев самовозгорания угля при добычных работах [1, 2]. В связи с этим не прекращаются поиски наиболее эффективного способа предотвращения и прогнозирования процессов самоокисления и возгорания углей при подземном и открытом способах добычи угля.

Методы/исследования

В данной статье приводятся теоретический обзор факторов эндогенных пожаров, анализ, описание и механизм их взаимодействия. Произведены преобразования кинетических уравнений для иллюстрации эффективности предлагаемого метода профилактики самовозгорания угля.

Самовозгорание происходит без внешнего источника тепла за счет повышения температуры, в результате экзотермической реакции окисления углерода в диоксид углерода. Химический и тепловой баланс, участвующий в низкотемпературном окислении угля, самовозгорании и окончательное сгорание иллюстрируются несколькими фундаментальными уравнениями процесса, демонстрирующими экзотермическую природу реакции²:



Когда уголь вступает в контакт с кислородом, из-за своей структуры он адсорбирует кислород.

¹Калмыков Д.Е., Маликова А.Д. Загнанные в уголь. Обзор. Угледобыча и угольная энергогенерация в Казахстане. Состояние и перспективы. – Караганда: Центр по внедрению новых экологически безопасных технологий, 2017. – 70 с.

²Шаповалов А.М. Методическое руководство по изучению дисциплины «Химия». <http://hi-edu.ru/e-books/xbook859/01/part-004> (по состоянию на 30/04/2020)

Таблица 1

Факторы, влияющие на возникновение подземных пожаров

Кесте 1

Жер асты өрттердің пайда болуына әсер ететін факторлары

Table 1

Factors affecting the occurrence of subterranean fires

Факторы – характеристики пласта	Горно-технологические факторы	Геологические факторы
Мощность пласта	Способы добычи	Толщина пласта
Петрографический состав	Темп продвижения лавы	Уклон пласта
Температура	Условие столба	Разломы/дамбы
Доступность воздуха	Условие крыши	Выбросы угля
Гранулометрический состав	Разрушение пород	Пористость угля
Влажность	Закладка	Глубина залегания
Содержание серы	Влияние древесных материалов (пр. опор)	–
Окисленность пласта	Утечки	–
Физико-механические свойства	Многопластовые разработки	–
Тектонические характеристики	Потери угля	–
Наличие бактерий	Выработанные пространства	–
Минералогический состав	Вентиляционные системы, влажность рабочей среды	–

При температуре выше 40°C адсорбция приводит к экзотермической реакции и вызывает повышение температуры окружающей среды. Если это тепло не может быть удалено из окружающей среды, концентрации CO и CO_2 увеличиваются при температуре выше 70°C, а водяной пар выделяется при 125°C. Когда повышающаяся температура среды достигает температуры воспламенения угля, начинаются эндогенные пожары.

Окисление угля начинается с экзотермических химических реакций, и его можно описать как процесс, включающий три последовательных этапа (рис. 1):

1) физическая адсорбция кислорода на поверхности угля – перенос кислорода на поверхности частиц угля;

2) химическая абсорбция (хемосорбция), приводящая к образованию угольно-кислородных комплексов и кислородсодержащих углеродов;

3) химическое взаимодействие между углем и O_2 .

Химическая реакция (стадия 3) расщепляет менее стабильные угольно-кислородные комплексы и приводит к образованию газообразных продуктов, обычно окиси углерода CO , двуокиси углерода CO_2 и водяного пара H_2O [3]. Взаимодействие угля в глубинах недр происходит вследствие технологических воздействий на закрытые пласты угля, а именно: в подземных шахтах во время горных работ легко возникают деформации, трещины и сыпучий уголь. Из-за труднодоступности сыпучего угля оказывается достаточно времени для протекания экзотермических реакций окисления, что увеличивает вероятность самовозгорания, тем самым создавая серьезную угрозу для безопасной добычи в шахте.

Результаты

В табл. 1 [4] приведен ряд причин и факторов возникновения эндогенных пожаров.

На самом деле, в любом производственном цикле происходят внеплановые остановки для длительного технического обслуживания, в результате чего угольная порода, подготовленная для выемки, откладывается в бункеры

временного хранения; очистные горные работы приостанавливаются, оставляя забои лавы и очистные подготовительные выработки незавершенными. В результате подобного простоя или добычи угля разной морфологии существует риск появления очагов самовозгорания.

С учетом перечисленных факторов для возникновения возгорания в угольных шахтах присутствуют все три основных элемента: кислород, тепло и топливо. В угольных шахтах уголь является основным источником топлива, кислород необходим рабочим, а тепло вырабатывается экзотермической реакцией угля. Кислород, в свою очередь, поставляется непрерывно вентиляционными системами для обеспечения трудовой и технологической деятельности, поэтому ни один из этих элементов не может быть удален из окружающей среды.

Таким образом, основным методом профилактики эндогенных пожаров является лишь ограничение контакта между углем и кислородом, отвод кислорода

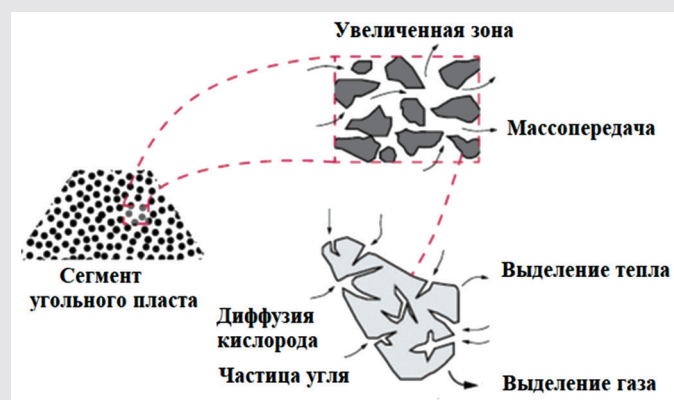


Рис. 1. Базовые явления, происходящие в процессе окисления угля.

Сурет 1. Көмірдің тотығу процесінде пайда болатын негізгі құбылыстар.

Figure 1. Basic phenomena occurring in the process of carbon oxidation.

в выработанном пространстве и т. д. Более того, ограничение или контроль над одним из перечисленных элементов понижает вероятность возгорания в геометрической прогрессии.

Согласно закону сохранения массы, при определенных температурных условиях скорость химической реакции является функцией концентрации реагента. С учетом всего соотношения скорость реакции самовозгорания угля V может быть выражена как:

$$V = k \times \varepsilon \times C_1 \times C_2, \quad (1)$$

где C_1, C_2 – концентрации исходных веществ;
 k – константа скорости реакции;
 ε – частота столкновений.

В свою очередь, согласно уравнению Аррениуса, при повышении температуры на 1°C при нормальной температуре скорость может увеличиться в 2~4 раза [5]:

$$k = k_0 \times \exp(-E/RT), \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная;
 A – предэкспоненциальный множитель, который не зависит от температуры, а определяется только видом реакции;
 E – энергия активации.

При объединении выражений (1) и (2) получается равенство (3):

$$V = k_0 \times \exp(-E/RT) \times \varepsilon \times C_1 \times C_2. \quad (3)$$

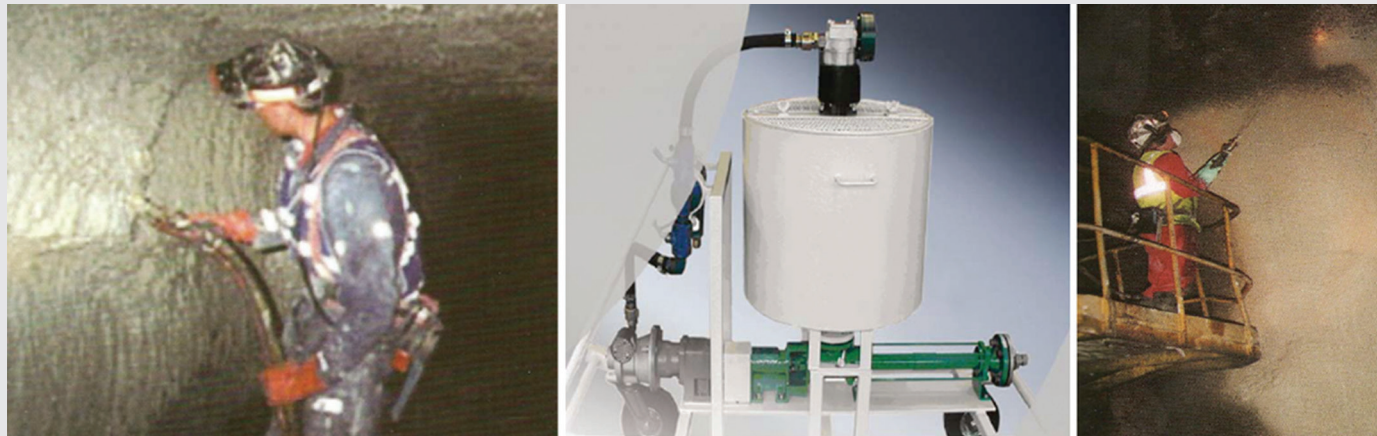
Так, если скорость тепловыделения q в окислительной реакции рассчитывается, как произведение скорости реакции V на количество тепла реакции Q , то выражение можно преобразовать:

$$q = V \times Q = Q \times k_0 \times \exp(-E/RT) \times \varepsilon \times C_1 \times C_2. \quad (4)$$

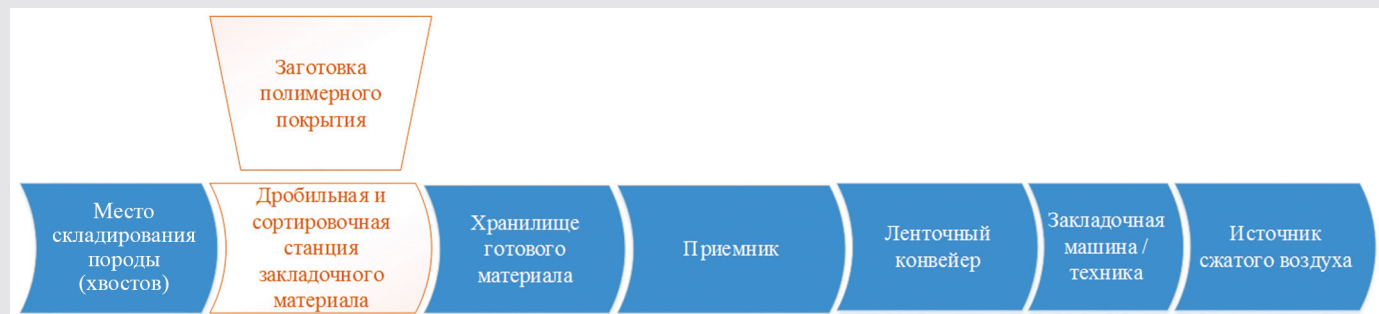
Обсуждение результатов

Выражение (4) приведено для иллюстрации того, что при уменьшении взаимодействующих концентраций топлива (в данном случае, поверхности угля) и кислорода, отводе вырабатываемого тепла, скорости тепловыделения и реакции окисления угля могут быть значительно снижены. Таким образом, отвод тепла и кислорода, изоляция поверхности угля теоретически могут быть эффективной мерой профилактики эндогенных пожаров. На практике основным принципом предотвращения самовозгорания угля является отделение угля от воздуха. Существует много технологий, таких как цементация, ингибиторы распыления и распыление инертных газов, которые широко используются во всем мире для предотвращения самовозгорания угля [6].

Эти технологии созданы для обеспечения безопасного производства шахты, однако, эффективность данных мер вызывает сомнения. Например, цементация с грязью или летучей золой не обеспечивает равномерного покрытия угля и не достигает верхнего уровня выработок; инертные газы подвержены диффузии при утечке воздуха и не могут дольше оставаться в зоне обработки; ингибиторы вызывают коррозию оборудования, а также вредны для горных рабочих. Поэтому существует необходимость покрывать угольные пласты и стены горных выработок материалами, нейтральными для окружающей среды, обеспечивающими эффективное скрепление с поверхностью угля, заполнение пор и трещин



**Рис. 2. Процесс нанесения полимерного покрытия на поверхности горных выработок.
 Сурет 2. Тау қазбаларының бетіне полимерлі жабынды қолдану процесі.
 Figure 2. The process of applying a polymer coating on the mine excavations surface.**



**Рис. 3. Процесс нанесения полимерного покрытия во время закладочных работ.
 Сурет 3. Төсеу кезінде полимерлі жабынды қолдану процесі.
 Figure 3. The process of applying a polymer coating during the stowing.**

в горных породах. Так, к примеру, в Китае, на основе существующих технологий разработана трехфазная пена для предотвращения самовозгорания угля в шахте и ее уже испытывают во многих угольных шахтах [7].

На основе результатов испытаний известных антипирогенных смесей для хранения углей и спецкокса на открытых и закрытых площадках [8] можно сделать предположение о высокой эффективности полимерных антипирогенных покрытий для профилактики самовозгорания угольных целиков и столбов в выработанных пространствах. Преимуществом применения полимерных покрытий в горном деле является свойство сродства с углем, адгезия, неразрушительная природа, стойкость к коррозионным процессам, низкий кислородный индекс, высокая прочность на растяжение, низкая теплопроводность, диэлектричность, магнито- и радиопрозрачность, экологичность, экономичность, влагостойкость и абсолютная инертность к агрессивной среде и оксидантам [9].

На сегодняшний день полимерные соединения используются в шахтах Караганды в качестве основы для установки различных крепей в горных выработках, а также применяются как материал тампонажа пустот и трещин капитальных выработок угольных шахт. Поэтому использование данных полимерных соединений в качестве антипирогенных покрытий является наиболее эффективной мерой профилактики самонагревания и возгорания угля в различных выработках, отработанных пространствах и временных подземных бункерных хранилищах, так как в отличие от минеральных покрытий или упомянутой трехфазной пены в силу своей высокой эластичности и клейкости плотно облегают поверхность стенки выработок, заполняя поры и трещины различного размера.

Нанесение полимерного антипирогена не требует остановки добычных технологических процессов и может производиться во время очистных работ. Для проведения работ не потребуются тяжелой горной техники и допустимо применять мобильные средства набрызга на покрываемую поверхность (рис. 2). Благодаря отличным адгезивным свойствам полимерных покрытий, расход материала на покрытие находится в пределах рациональных производственных параметров. Так, к примеру, покрытие из модифицированного полимера «Текфлекс», которое также испытывалось на штабелях угля и спецкокса, требует расхода 2,6 кг на 1 м² изолируемой поверхности выработок³.

Однако, процессы самовозгорания зачастую происходят именно в труднодоступных участках шахты, где предложенный способ изоляции оголенного участка угольных целиков невозможен. Блокирование или закрытие подобных участков и выработанных пространств на практике производится путем закладки пространства, главная роль которой – управление горным давлением при ведении очистных работ, что также способствует предотвращению нарушений рельефа земной поверхности. Разрешая вопросы горного давления, не придается значения влиянию состава закладочного материала на процессы самонагревания, тогда как окислы металлов в составе пустых пород могут послужить катализатором окислительных процессов и спровоцировать очаги самонагревания в труднодоступных участках шахт, несмотря на максимальную плотность закладки. Таким образом, смешение полимерного материала с закладочным при пневматическом способе закладки и особенно при гидрозакладке имеет потенциал рационального метода заблаговременного блокирования очага самонагревания.

Профилактика самовозгорания от смешения закладочного материала с полимерным покрытием заключается в изоляции и исключении прямого контакта концентрата отработанной породы с оголенными стенками выработанного пространства, а также в обеспечении более плотной закладки выработанного пространства в силу адгезивных и эластичных свойств связующего материала.

Идея смешивания материалов не потребует капитального изменения действующих технологических схем закладки выработанного пространства, а лишь добавления заготовленной смеси на стадии дробления и подготовки закладочного материала (рис. 3).

Таким образом, полимерные антипирогенные материалы рассматриваются в качестве наиболее действенных мер, предотвращающих окисление угля непрерывно поступающим кислородом. Практическая применимость полимерных соединений в горном деле обширна и разнообразна, и использование в качестве антипирогенных покрытий для углей, склонных к самовозгоранию в силу своего состава и происхождения является самым эффективным средством, позволяющим предупреждать аварийные ситуации без перерыва производственных шахтных процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wan-Xing Ren. Анализ и предотвращение риска самовозгорания угля в породах угольной шахты во время очистных работ // *Геоматика, природные опасности и риски*. – 2019. – Вып. 10. – №1. – С. 353-367. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1523237> (на английском языке)
2. Иманбекова А.М. Улучшение условий труда, повышение его безопасности и охрана окружающей среды как важные социальные требования к функционированию горнодобывающего предприятия. // *Проблемы права и экономики*. – 2016. – Вып. №2. – С. 66-73 (на русском языке)

³Веб сайт компании Минова <http://minova.kz/?p=112>

3. Saffari A., Ataei M., Sereshki F., Ghanbari K. Представление системы инженерной классификации склонности угля к самовозгоранию // *Международный журнал угольной науки и технологии*. – 2017. – P. 110-128. <https://doi.org/10.1007/s40789-017-0160-7> (на английском языке)
4. Васильева И.В. Геологические факторы влияния на возникновение эндогенных пожаров в угольных шахтах. // *Сборник научных трудов Украинского государственного геологоразведочного института*. – 2016. – №4. – С. 64-69 (на русском языке)
5. Литвишков Ю.Н. О физическом смысле параметров уравнения Аррениуса. // *Kitua problemləri*. – Баку, 2019. – №3(17). – С. 456-464. (на русском языке)
6. Портола В.А., Храмов В.И., Ярош А.С. Влияние применяемых в шахтах составов на склонность угля к самовозгоранию. // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2016. – №1. – С. 63-66. (на русском языке)
7. Botoa Qin, Yi Lu, Yong Li, Deming Wanga. Водная трехфазная пена, поддерживаемая летучей золой, для предотвращения и контроля самовозгорания угля. // *Усовершенствованная порошковая технология*. – 2014. – №25. – Вып. 5. – С. 1527-1533. (на английском языке). <https://doi.org/10.1016/j.apr.2014.04.010>
8. Дрижд Н.А., Даулетжанов А.Ж., Замалиев Н.М., Даулетжанова Ж.Т. Эффективность применения антипирогенных материалов для нанесения покрытий на угли и кокс. // *Научный вестник Национального Горного университета*. – 2019. – №6. – С. 112-116. (на английском языке). <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/16>
9. Уварова В.А. Пожарная и токсическая опасность полимеров и композитов, используемых в анкерной крепи горных выработок. // *Горная промышленность*. – 2014. – №1(113). – С. 106-110. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Wan-Xing Ren. Талдау және шығару кезеңінде көмір кенішінің шұңқырларында көмірдің өздігінен жану қаупінің алдын алу. // *Геоматика, табиғи қауіптер мен қауіп-қатер*. – 2019. – Т. 10. – Шығ. 1. – Б. 353-367. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1523237>
2. Иманбекова А.М. Еңбек жағдайларын жақсарту, оның қауіпсіздігі мен қоршаған ортаны қорғау тау-кен кәсіпорны жұмысының маңызды әлеуметтік талаптары ретінде. // *Заң және экономика журналы*. – №2. – 2016. – Б. 66-73. (орыс тілінде)
3. Saffari A., Ataei M., Sereshki F., Ghanbari K. Көмірдің өздігінен жану әлеуетін инженерлік жіктеудің жүйесін ұсыну // *Халықаралық көмір туралы ғылым және технология журналы*. – 2017. – Б. 110-128. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.1007/s40789-017-0160-7>
4. Васильева В.В. Көмір шахталарында эндогендік өрттің пайда болуына әсер етудің геологиялық факторлары. // *Украина мемлекеттік геологиялық барлау институтының ғылыми еңбектерінің жинағы*. – 2016. – № 4. – Б. 64-69. (орыс тілінде)
5. Литвишков Ю.Н. Аррениус теңдеуі параметрлерінің физикалық мағынасы туралы. // *Kitua мәселелері*. – Баку, 2019. – № 3 (17). – Б.456-464. (орыс тілінде)
6. Портола В.А., Храмов В.И., Ярош А.С. Шахталарда қолданылатын композицияның өздігінен жану үшін көмірдің бейімділігіне әсері. // *Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы*. – 2016. – №1, – Б. 63-66. (орыс тілінде)
7. Botoa Qin, Yi Lu, Yong Li, Deming Wanga Көмірдің өздігінен жануын болдырмау және бақылау үшін шыбын күлімен қорғалған сулы үш фазалы көбік. // *Ұнтақтың жетілдірілген технологиясы*. – 2014. – №25. – Шығ. 5. – Б. 1527-1533. (ағылшын тілінде). <https://doi.org/10.1016/j.apr.2014.04.010>
8. Дрижд Н.А., Даулетжанов А.Ж., Замалиев Н.М., Даулетжанова Ж.Т. Антипирогенді материалдарды көмір мен коксты жабу үшін қолданудың тиімділігі. // *«Naikouyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu»*. – 2019. – №6. – Б. 112-116. (ағылшын тілінде). <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/16>
9. Уварова В.А. Тау-кен қазбаларын якорьді тіреу кезінде қолданылатын полимерлер мен композиттердің өрт және уытты қаупі. // *Тау-кен өнеркәсібі журналы*. – 2014. – №1(113). – Б. 106-110. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Wan-Xing Ren. Analyses and prevention of coal spontaneous combustion risk in gobs of coal mine during withdrawal period // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. – 2019. – Vol. 10. – Issue 1. – P. 353-367. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1523237> (in English)

2. *Imanbekova A.M. Improving working conditions, improving its safety and environmental protection as important social requirements for the functioning of a mining enterprise. // Journal of Law and Economics. – 2016. – Issue 2. – P. 66-73. (in Russian)*
3. *Saffari A., Ataei M., Sereshki F., Ghanbari K. Presenting an engineering classification system for coal spontaneous combustion potential. // International Journal of Coal Science & Technology. – 2017. – P. 110-128. (in English) <https://doi.org/10.1007/s40789-017-0160-7>*
4. *Vasilieva I.V. Geological factors of influence on the occurrence of endogenous fires in coal mines. // Collection of scientific papers of the Ukrainian State Geological Prospecting Institute. – 2016. – №4. – P. 64-69. (in Russian)*
5. *Litvishkov Yu.N. On the physical meaning of the parameters of the Arrhenius equation. // Kimya problemləri. – Baku, 2019. – №3(17). – P. 456-464. (in Russian)*
6. *Portola V.A., Khramtsov V.I., Yarosh A.S. The influence of compositions used in mines on the propensity of coal for spontaneous combustion. // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2016. – №1. – P. 63-66. (in Russian)*
7. *Botao Qin, Yi Lu, Yong Li, Deming Wang. Aqueous three-phase foam supported by fly ash for coal spontaneous combustion prevention and control // Advanced Powder Technology. – 2014. – Vol. 25. – Issue 5. – P. 1527-1533. (in English) <https://doi.org/10.1016/j.appt.2014.04.010>*
8. *Drizhd N.A., Dauletzhanov A.Zh., Zamaliyev N.M., Dauletzhanova Zh.T. Efficiency of application of antipyrogenic materials for coating coals and coke. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2019. – №6. – P. 112-116. (in English) <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/16>*
9. *Uvarova V.A. Fire and toxic hazard of polymers and composites used in anchor support of mine workings. // Mining Industry Journal. – 2014. – №1(113). – P. 106-110. (in Russian)*

Сведения об авторах:

Дрижд Н.А., д-р техн. наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), n_drizhd@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-7269-7626

Замалиев Н.М., PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliev@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-0628-2654,

Даулетжанов А.Ж., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), dauletzhanov@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-1770-3728

Даулетжанова Ж.Т., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета (г. Караганда, Казахстан), kaliyeva_zhanna@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-9682-5127

Авторлар туралы мәліметтер:

Дрижд Н.А., техникалық ғылыми докторы, кафедраның профессоры «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру», Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), n_drizhd@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-7269-7626

Замалиев Н.М., PhD, кафедраның аға оқытушысы «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру», Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), nailzamaliev@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-0628-2654,

Даулетжанов А.Ж., кафедраның докторант «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру», Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), dauletzhanov@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-1770-3728

Даулетжанова Ж.Т., кафедраның докторант «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру», Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), kaliyeva_zhanna@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-9682-5127

Information about authors:

Drizhd N.A., Doctor of Science, Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), n_drizhd@mail.ru, ORCID ID 0000-0001-7269-7626

Zamaliyev N.M., PhD, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), nailzamaliev@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-0628-2654

Dauletzhanov A.Zh., PhD Doctoral Student of the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), dauletzhanov@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-1770-3728

Dauletzhanova Zh.T., PhD Doctoral Student of the Department «Development of Mineral Deposits» of the Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan), kaliyeva_zhanna@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1770-3728



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
(к 80-летию
со дня
рождения)

Марат Жакупович Битимбаев относится к тем людям, которые, влюбившись в свою профессию горного инженера, всю свою трудовую и научную деятельность посвятили этому трудному, требующему полной отдачи физических сил и творчества делу.

Окончив в 1962 г. Казахский политехнический институт (бывший Казахский горно-металлургический институт, ныне Казахский научно-исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева), М.Ж. Битимбаев, как один из лучших выпускников, был оставлен в аспирантуре под руководством академика О.А. Байконурова. Но, проучившись около года, он понял, что для того, чтобы стать настоящим горняком, необходим производственный опыт, и в 1963 г. перевелся на заочное обучение в аспирантуре и уехал в г. Кентау на одно из лучших горных предприятий в СССР – Ачисайский полиметаллический комбинат. Здесь он приобрел прекрасную трудовую и профессиональную закалку, работая горным мастером, начальником участка, зав. горными работами рудника и комбината, начальником рудника, заместителем директора комбината по производству. Молодого и перспективного руководителя в 1984 г. назначили главным инженером, а затем и директором Иртышского полиметаллического комбината. Здесь он, базируясь на опыте, полученном на комбинате «Ачполиметалл», внедрил новые технологии и технику, вывел предприятие на передовые позиции. В 1987 г. М.Ж. Битимбаев возвращается в Южный Казахстан, где работает начальником Южно-Казахстанского округа Гостехнадзора Казахской ССР, начальником шахтостроительного управления и директором комбината «Ачполиметалл».

Особенно талант специалиста, государственного деятеля, организатора науки проявился у М.Ж. Битимбаева, когда Казахстан получил независимость. Он много сделал для становления суверенного государства, будучи народным депутатом Верховного Совета Казахстана (1990-1991 гг.), заместителем министра промышленности РК (1991-1994 гг.), заместителем министра геологии и охраны недр Республики Казахстан (1994-1998 гг.), заместителем директора горно-металлургического Департамента Министерства промышленности и торговли РК (в 1998-2002 гг.); главным менеджером АО «Казатомпром», директором Института горного дела им. Д.А. Кунаева, заместителем генерального директора ТОО «АБС Балхаш», ТОО «DATA Invest» (2002-2014 гг.). В настоящее время М.Ж. Битимбаев работает экспертом ТОО «Корпорация Казахмыс».

Президиум Национальной инженерной академии Республики Казахстан, коллектив ИГД им. Д.А. Кунаева, редакция и редколлегия «Горного журнала Казахстана», коллектив ТОО НПП «Интеррин», друзья и коллеги поздравляют Марата Жакуповича со знаменательным событием и желают юбиляру крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

Широк и разносторонен круг профессиональных и научных интересов Марата Жакуповича. Вот только некоторые из работ, выполненных под его руководством и при непосредственном участии: создание оптимальных составов погрузочно-доставочных комплексов по отношению к технологическим схемам с применением математического аппарата теории массового обслуживания; организация скоростного проведения наклонных и вертикальных восстающих с применением механизированных монорельсовых проходческих комплексов КПП-4у и КПП-2; строительство рудника «Глубокий» комбината «Ачполиметалл» (отмечена Премией Совета Министров СССР), разработанные инновационные технологии, внедренные на этом же руднике (повторная разработка списанных в безвозвратные потери балансовых запасов и тиксотропная (пастовая) закладка); обеспечение горных предприятий РК взрывчатыми веществами и средствами взрывания нового поколения и ряд других.

М.Ж. Битимбаев совершил Научное Открытие «Формирование минерально-сырьевой базы полезных ископаемых полным, комплексным и управляемым использованием массива недр Земли с валовой сплошной выемкой» в 2020 г. на основе установления неизвестных ранее объективно существующих закономерностей и свойств материального мира неживой природы в виде ее недр в земной коре, вносящих коренные изменения в уровень познания и дающих возможность обеспечения человечества неисчерпаемым источником получения всех необходимых для непрерывного развития цивилизации видов твердого минерального сырья.

М.Ж. Битимбаев – участник разработки многих государственных программ, реализация которых позволила суверенному Казахстану занять достойное место в мире.

Большое внимание Марат Жакупович уделяет подготовке кадров для горных предприятий, он является единственным в Казахстане автором полного цикла учебников для студентов горной специальности. Им подготовлены и изданы терминологические словари по теме «Горное дело и металлургия», казахско-русско-английский словарь «Горное дело». Он – автор ряда историко-познавательных и технических монографий, вызвавших большой интерес у горной общественности. М.Ж. Битимбаевым издано около 400 научных работ, в том числе 19 монографий, 4 учебника для вузов, 2 учебных пособия. Им получены 83 авторских свидетельства на изобретения СССР, 34 Патента РК, в том числе 4 Инновационных Патента РК.

М.Ж. Битимбаев является председателем аттестационных комиссий в КазНИТУ им. К.И. Сатпаева по защите дипломных проектов бакалавров и выпускных работ магистрантов по горному делу.

Его научная и профессиональная деятельность высоко оценена. М.Ж. Битимбаев избран академиком Международной и Национальной инженерной академии РК, членом президиума НИА РК, является главным редактором «Горного журнала Казахстана», членом редколлегии журналов «Геология и охрана недр», «Вестник Национальной инженерной академии» и «Известия вузов. Горный журнал» (РФ).

М.Ж. Битимбаев – кавалер орденов «Знак Почета», «Құрмет», «Парасат», «Инженерная Слава» (РФ), «Labore et Scientia» (Трудом и Знанием), награжден почетным знаком «Шахтерская Слава» 1-й, 2-й, 3-ей степеней (полный кавалер этой награды), многими медалями и почетными знаками.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ
в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»
(действуют с 1 сентября 2019 года)

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов по следующим направлениям (полный перечень рубрик указан на сайте minmag.kz):

- ✓ *Геотехнология (подземная, открытая и строительная)*
- ✓ *Геомеханика, маркшейдерское дело и геодезия*
- ✓ *Разрушение горных пород*
- ✓ *Горные машины и оборудование*
- ✓ *Обогащение полезных ископаемых*
- ✓ *Геоэкология горно-перерабатывающей промышленности*
- ✓ *Охрана труда и промышленная безопасность*
- ✓ *Теоретические основы проектирования горно-технических систем*
- ✓ *Металлургия*
- ✓ *Горно-промышленная геология и геофизика*
- ✓ *Экономика горно-металлургической отрасли*

По указанным направлениям также принимаются статьи обзорного характера, отвечающие критериям первой научной публикации.

Дополнительные рубрики:

- ✓ *Подготовка кадров (применительно к теме журнала)*
- ✓ *История горного дела, металлургии и геологии*
- ✓ *Юбилеи*
- ✓ *Реклама*

2. Основные требования к статьям, представленным для публикации в журнале:

- набор статьи производится шрифтом Times New Roman 12 с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, тщательно выверенный вариант статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата с помощью специальной программы (например, www.text.ru);
- необходимо указать одно из научных направлений, которому в наибольшей степени соответствует тематика статьи.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?pl=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском и русском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, контактные данные (адрес электронной почты), город, страна) предоставляются на казахском и русском языках;
 - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
 - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация (реферат) предоставляется на казахском и русском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском и русском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2010 года, предоставляется на казахском и русском языках.

Основной раздел статьи на казахском или русском языках должен быть четко структурирован.

- ✓ Введение (*Introduction*) должно отражать актуальность темы исследования, обзор литературы по теме, постановку проблемы, формулировку целей и задач исследования.

✓ Методы/исследования (*Materials and Methods*) – описание методов исследования, схем экспериментов (наблюдений) с тем, чтобы позволить другим ученым и практикам воспроизвести результаты, пользуясь лишь текстами статьи; описание материалов, приборов, оборудования, выборка и условия проведения экспериментов (наблюдений).

✓ Результаты (*Results*). Этот раздел должен отражать фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).

✓ Обсуждение результатов (*Discussion*) – типовая структура этого раздела имеет такой вид:

- чем могут быть объяснены полученные результаты;
- благодаря каким именно особенностям предложенных решений обеспечиваются преимущества;
- что можно считать преимуществами данного исследования по сравнению с аналогами;
- в чем состоят недостатки исследования;
- в каком направлении исследование целесообразно развивать, с какими трудностями при этом можно столкнуться.

✓ Заключение (*Conclusion*) – краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в ней.

✓ Благодарности (*Acknowledgments*) – выражение признательности коллегам за помощь.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисовочном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. Подписи к рисункам и заголовки таблиц **ОБЯЗАТЕЛЬНЫ**.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские – курсивом. **Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста** (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. В список литературы не включаются любые материалы, не имеющие конкретного автора, в том числе: законы, стандарты (включая ГОСТ), статьи из словарей и энциклопедий, страницы сайтов, для материалов которых не указан конкретный автор и интервал страниц. Если у Вас возникает необходимость сослаться на подобные материалы, то ссылки на них оформляются как сноски в тексте статьи. Список приводится на русском (казахском) языке, а также в переводном и транслитерированном варианте (транслитерация выполняется по стандарту BSI: <https://translit.net/ru/bsi/>). Оба варианта списка литературы должны быть идентичны по содержанию. Сначала подготавливается русскоязычный (казахскоязычный) список литературы, включающий все источники (даже на иностранных языках), затем он переводится на английский язык и транслитерируется.

К статье прилагаются сведения на английском языке:

✓ заглавие (Title) – без сокращений и транслитерации, кроме случаев, когда встречаются непереводаемые названия имен собственных, например, название предприятий, приборов и др.;

✓ фамилия и инициалы (автора (-ов) (Byline) – транслитерация по системе BSI (<http://www.translit.ru>). Для англоязычных метадаанных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия;

✓ сведения об авторе (-ах), без сокращений;

✓ полное название организации (аббревиатуры не допускаются, дается полное название организации и ведомственная принадлежность, в том виде, в котором их профиль идентифицирован в БД Scopus), ее адрес, город, страна с указанием индекса;

✓ реферат (аннотация) – Abstract. В реферат не допускается включать ссылки на источники из полного текста, а также аббревиатуры, которые раскрываются только в полном тексте. Реферат должен быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой казахско-русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированным (следовать логике описания результатов в статье, кратко отображая основные мысли, содержащиеся в ее структурных частях – от проблемы, цели и методов до результатов исследований, предложений и главных выводов);
- быть написанным качественным английским языком;
- объемом не менее 700 знаков.

✓ ключевые слова (Keywords) в количестве не менее 10, сокращения не допускаются, также не допускается использование слов в кавычках.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении не менее 5 (пяти) экземпляров журнала с 50% скидкой, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. Для авторов, проживающих в других городах (кроме г. Алматы) и не имеющих представителей в г. Алматы, в счет включаются почтовые услуги. После оплаты статья публикуется в очередном номере журнала, а автору(авторам) предоставляются экземпляры журнала, согласно счету.

8 июля 2020 г. ушел из жизни Владимир Константинович Вороненко.

В 1962 г. после окончания Казахского политехнического института по специальности разработка месторождений полезных ископаемых Владимир Константинович начал работать на Лениногорском полиметаллическом комбинате. Здесь им пройден путь от рабочего до начальника горно-экспериментального отдела комбината. В 1966 г. заочно окончил Ленинградский горный институт по специальности горные машины.

Совмещая трудовую деятельность с научной, в 1972 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. С 1973 г. началась его педагогическая деятельность в Лениногорском филиале Казахского политехнического института. Он читал лекции по технологии подземной разработки рудных месторождений и буровзрывным работам, а позднее по совместительству работал в головном институте на кафедрах «Подземная разработка рудных месторождений» и «Транспортные и горные машины».

Производственная и научная деятельность В.К. Вороненко была связана с совершенствованием технологии горных работ, созданием и внедрением горных машин. Работая на Лениногорском полиметаллическом комбинате, он много внимания уделял вопросам повышения эффективности систем разработки с отбойкой руды скважинными зарядами различного диаметра, совершенствованию конструкций днищ блоков, выпуска и доставки руды. Так, был осуществлен переход на отбойку руды скважинными зарядами диаметром 105 мм и 125 мм вместо ранее используемого диаметра 150 мм, освоена доставка руды скреперами СШУ-1100, внедрен выпуск руды вибрационными установками ВДПУ. С его участием выполнены исследования и освоена закладка выработанного пространства с использованием текущих хвостов обогащения на Риддер-Сокольном месторождении. Много внимания он уделял совершенствованию техники и технологии бурения: модернизировал станок ЛПС, участвовал в создании станка шарошечного бурения БШ-145 для подземных работ, осуществлял перевод рудников на бурение шпуров диаметром 40 мм вместо 46 мм, внедрял станки для заточки бурового инструмента. В.К. Вороненко стоял у истоков работ по механизированному заряданию шпуров и скважин гранулированными ВВ,



**Владимир
Константинович
Вороненко
(1939-2020)**

разрабатывая зарядные устройства, технологию зарядания и вспомогательное оборудование. За работы по совершенствованию процессов горного производства и создание новой техники он был награжден золотой, серебряной и бронзовой медалями ВДНХ СССР. В 1975 г. Владимира Константиновича перевели на строящийся Алмадинский завод горно-шахтного оборудования (ныне «Массажет»), где он занимался проектированием малогабаритного самоходного оборудования. В 1977 г. В.К. Вороненко избрали заведующим лабораторией бурильных машин и взрывных работ института горного дела АН КазССР, где он занимается созданием буровой техники и вопросами управления действием взрыва. Впервые в промышленных условиях в крепких породах было осуществлено бурение шпуров и скважин электромагнитным перфоратором, созданным в лаборатории. Обоснован и разработан типоразмерный ряд буровых станков для подземных работ, которые прошли опытно-промышленную проверку на рудниках Казахстана. Непосредственное участие он принимал в создании и испытании агрегата безлюдной выемки крепких руд с буровзрывной отбойкой. Занимаясь вопросами добычи блочного камня, он разработал ряд станков для бурения строчек шпуров и проходки щелевых выработок методом бурения, которые нашли широкое применение. Работы по управлению действием взрыва, выполняемые им, направлены на использование для отбойки горных пород шпуровых и скважинных зарядов нетрадиционной формы: с боковыми профильными углублениями и плоскими. Им разработаны устройства и технология бурения таких шпуров и скважин, которые прошли опытно-промышленную проверку. Его последние работы посвящены безвзрывной отбойке крепких руд и проходке разворотов в днищах блоков за один взрыв, где обоснованы целесообразность применения этих методов, созданы экспериментальные устройства для их реализации и осуществлена опытно-промышленная проверка.

В.К. Вороненко – автор 52 изобретений и более 160 печатных работ, в том числе 5 монографий. Он – один из авторов «Справочника по горнорудному делу» (М.: Недра, 1983). Свою научную и педагогическую деятельность он сочетал с подготовкой научных кадров. Им подготовлено три кандидата технических наук.

Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, Горный институт КазНТУ, сотрудники ТОО НПП «Интеррин», друзья и коллеги выражают соболезнования родным и близким Владимира Константиновича.

Светлая память.