

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 № 603 от 12.07.2024 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,
 +7 (747) 343-15-02
minmag.kz

Представитель журнала на специализированных мероприятиях – Общество с ограниченной ответственностью «Маркетинг от Тимченко»

Представители журнала:

Республика Узбекистан –
ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ
karimov20-13@mail.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 «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать 30.08.2025 г.

Отпечатано:

«Print House Geron»
 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

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

Редакционная коллегия:

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD, Professor of Mining Engineering

Барменшинова М.Б., канд. техн. наук, ассоц. профессор

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

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

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

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

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

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Едильбаев А.И., д-р техн. наук

Жанибеков Б.О., д-р философии геол.-мин. наук, доцент

Каплунов Д.Р., д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники (Россия)

Каримов Ш.В., PhD (Узбекистан)

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

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

Насиров У.Ф., д-р техн. наук, профессор (Узбекистан)

Нифадьев В.И., д-р техн. наук, профессор

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

Ольшанский Е.Н., член-корреспондент МАИН

Петров Е.А., д-р техн. наук, профессор

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

Рысбеков К.Б., канд. техн. наук, профессор

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Туробов Ш.Н., PhD, доцент

Хайитов О.Г., д-р геол.-минерал. наук, профессор

Хамидов Р.А., PhD, доцент

Шодиев А.Н., д-р техн. наук, доцент

Чепуштанова Т.А., PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

3	Колонка главного редактора
4	<i>Арман Амиров</i> Послепродажная поддержка и сервис: внимание на FLS
8	Сварка высокого полета: ESAB представит новые решения на Mining and Metals Central Asia 2025
10	Сталь Hardox®: гарантия износостойкости или риск подделки? Ответственный выбор для производственных предприятий Центральной Азии
	Геотехнология
12	<i>*С.К. Молдабаев, Г.Н. Асылханова, А.С. Молдабаев, С.А. Асылханова</i> Секторальное моделирование открытых горных выработок в программе RS3 компании Rocscience
18	<i>T. Aldubay, B. Khussan, *M. Rabatuly</i> Methods of hardening the laying array and acoustic control of its stability during underground mining
	Минерально-сырьевые ресурсы
26	<i>А. Жумагазиев, Р. Кенжебай, *С. Курбаниязов, Т. Шоймуротов</i> Состояние сырьевой базы и возможности использования глауконита в промышленности Узбекистана
35	<i>*А.С. Серикканов, Т.С. Турмагамбетов, М.Ф. Тамендаров, Д.О. Кантарбаева</i> Алдын ала шлактық тазартудан өткен металлургиялық кремнийді химиялық тазарту әдістері
	Геодезия
42	<i>*Ы. Жакыпбек, А. Айдаркызы, Е.Е. Бегимжанова, С.Н. Мустапаева</i> Қашықтықтан зондтау деректері негізінде Теміртау қаласындағы қалдық үйінділерінің көлемінің өзгеруін және қоршаған ортаның ластануын бағалау
	Металлургия
49	<i>Е.Е. Жолдасбай, М.Б. Курмансейтов, А.А. Аргын, *Н.К. Досмухамедов</i> Оценка экономической эффективности хлорирующей технологии для переработки Е-лома
55	<i>*Т.К. Сарсембеков, Т.А. Чепуштанова, Е.С. Меркибаев, Т. Янко</i> Исследование минерализации редких и редкоземельных элементов в ильменитовом концентрате Сатпаевского месторождения Восточно-Казахстанской области
	Нефтегазовое дело
63	<i>А.Р. Кембаев, *Г.Ж. Бимбетова, Н.Ш. Отарбаев, Р.М. Бекенов</i> Шегендеу бағаналарын бекіту үшін тампонаждық қоспалардың жаңа құрамын алу
	Геоэкология
71	<i>*А.М. Сариева, Н.Р. Тауова, М. Бержанова, А. Сакпарова</i> Исследование пространственного распределения H ₂ S в атмосферном воздухе Атырау в условиях зимнего сезона
	Юбилей
78	Марат Жакупович Битимбаев (к 85-летию со дня рождения)
80	Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемая редколлегия!*

Ожидаемый в последнее воскресенье августа наш профессиональный праздник День шахтера ознаменовался знаковыми событиями, которые в нашей стране как Программу нового возрождения мы воспринимаем после доклада министра промышленности и строительства Ерсайына Нагаспаева на заседании Правительства в конце июля.

Небывалый рост переработки цветных металлов в Казахстане и создание производства редких и редкоземельных металлов планируется уже в 2025 г. Планируется более чем в два раза увеличить переработку меди, в полтора раза – алюминия. Речь идет о такой продукции, как медная катанка, кабельно-проводниковая продукция, аккумуляторы, оконные профили, мебельная фурнитура и другие товары. Ожидается увеличение доли предприятий горно-металлургического комплекса, на которых трудятся около 224 тысяч человек, до 8% в объеме ВВП страны со стоимостью продукции более 14 трлн тенге.

Впечатляющие цифры достигнуты по производительности труда, которая в 2024 г. выросла на 9,4%, добыча руды выросла на 7,8%, производство металлов на 6,9%.

Следует отметить открывающийся в этом году завод по производству катодной меди в Жамбылской области, производственный комплекс по изготовлению прямошовных труб и алюминиевых радиаторов в Карагандинской области и заводы по выпуску алюминиевых изделий и профилей в Акмолинской и Туркестанской областях.

Всего в этом году планируется начать реализацию 28 проектов в отрасли на сумму 444 млрд тенге.

Возрождением забытого старого производства, которым Казахстан в свое время славился как флагман СССР и являлся одним из четырех мировых производителей, является восстановление на Павлодарском алюминиевом заводе производства металлического галлия. Интерес к этому металлу как к одному из критических стремительно растет, спрос увеличивается со стороны производителей полупроводников, оптоэлектроники, солнечных панелей и систем наведения в оружейном бизнесе.

Компания ERG планирует инвестировать 20 миллионов долл. США на проект по производству галлия в Казахстане с мощностью 15 тонн (мировое производство в 2024 г. составило 760 тонн, из которых 610 тонн произведено в Китае).

По данным, озвученным председателем Комитета по инвестициям МИД РК Габидуллой Оспанкуловым, в Казахстане насчитывается более 5000 неразведанных месторождений редких и редкоземельных металлов с запасами на сумму более 46 трлн долл. США. К 2029 г. планируется увеличить их добычу на 40%, в результате чего сектор редкоземельных металлов при достижении полного цикла от добычи до выпуска готовой продукции будет производить 7,1% ВВП страны (для сравнения – текущие доходы от нефти и газа составляют 7,3%).

Уверенность в выполнении такого плана добавляет прямое поручение Президента Касым-Жомарта Кемелевича Токаева по увеличению площади геологических исследований в стране с 1,5 млн до 2,2 млн кв. см.

В этом направлении по подготовленным Высшей аудиторской палатой (ВАП) рекомендациям принято решение на геологоразведочные работы в 2025 г. выделить 30 млрд тенге.

Такая грандиозная палитра полного комплекса всех видов работ по обнаружению, разведке, утверждению запасов, разработке технологий и проектов добычи и переработки говорит об ожидаемом многие годы восстановлении позиций нашей страны на мировом уровне по количеству, качеству, металлическому разнообразию как одного из лидеров рынка металлов.

Поздравляя коллег с праздником, зная об ожидаемых новых рубежах нашего горно-металлургического комплекса, следует помнить, что мировая цивилизация уверенно может развиваться, если действует сырьевая база металлов, подкрепленная технологиями и кадрами.

Казахстан может и должен занять свое достойное место в ряду производителей материальной основы создания благополучия социально-экономического уровня развития нашего государства.

С этой уверенностью поздравляю всех, кто в забое или за праздничным столом отмечает созидательным трудом или торжественными словами достижения на трудном и благородном поприще!

С праздником!

Арман Амиров

*Региональный менеджер по Центральной Азии
Насосы, гидроциклоны, запорная арматура*

ПОСЛЕПРОДАЖНАЯ ПОДДЕРЖКА И СЕРВИС: ВНИМАНИЕ НА FLS

В динамично развивающейся горнодобывающей промышленности Центральной Азии надежное и эффективное оборудование играет ключевую роль в обеспечении прибыльности и производительности процесса обогащения полезных ископаемых. Компания FLS понимает эту потребность и предлагает надежную региональную инфраструктуру послепродажного обслуживания своих насосов, гидроциклонов и запорной арматуры на базе сервисного центра компании FLS в Караганде, Республика Казахстан. Благодаря использованию передовых цифровых технологий послепродажное обслуживание также позволяет горно-обогатительным комбинатам Центральной Азии сократить свое воздействие на окружающую среду.

Послепродажное обслуживание имеет решающее значение для поддержания эксплуатационной эффективности оборудования, увеличении времени безотказной работы и минимизации затрат. Компания FLS предоставляет полный набор услуг, направленных на продление срока службы насосов, гидроциклонов и запорной арматуры, что позволяет горнодобывающим предприятиям получить максимальную отдачу от инвестиций. Основные предложения компании включают в себя:

- Плановое профилактическое и корректирующее обслуживание с учетом особенностей конкретного оборудования, помогающее предотвратить незапланированные простои.
- Широкий ассортимент оригинальных запасных частей OEM для насосов, гидроциклонов и запорной арматуры, обеспечивающих совместимость и сокращающих время на ремонт.
- Экспертное устранение неполадок как на площадке, так и удаленно для быстрого решения проблем.
- Обучение персонала горно-обогатительных предприятий, содействующее лучшей эксплуатации и обслуживанию оборудования.
- Модернизация и доработка оборудования с использованием новейших технологий для повышения функциональности и производительности.
- Консультационные услуги, помогающие клиентам оптимизировать процессы и снизить эксплуатационные затраты.

Сервисный центр компании FLS в Караганде

Стратегически расположенный в самом сердце горнодобывающего сектора Казахстана, сервисный центр FLS



в Караганде играет ключевую роль в предоставлении послепродажной поддержки горнодобывающих предприятий Центральной Азии. Сервисный центр занимает площадь около 12 000 м², из которых 5200 м² предназначены для офисов и складских помещений, а 1300 м² – для ремонтного цеха, оснащенного современным оборудованием, включая кран-балки грузоподъемностью 16 и 51 тонн.

Карагандинский сервисный центр предлагает широкий спектр услуг, таких как:

- Сборка, модификация и модернизация деталей и компонентов в соответствии с потребностями клиента.
- Комплексные услуги по капитальному и текущему ремонту, включая реконструкцию и программы обмена.
- Поставка оригинальных запасных частей OEM, включая индивидуальные решения.
- Быстрое реагирование при выявлении неисправностей и срочном ремонте.
- Обучающие программы на площадке для повышения квалификации местного персонала.

Сервисный центр в Караганде также предоставляет поддержку по управлению складскими запасами, обеспечивая незамедлительный доступ к запасным частям и компонентам. Наличие локальных складов запасных частей позволяет компании FLS реализовывать программы восстановления и обмена оборудования. Изношенные компоненты заменяются на имеющиеся на площадке запасные детали, потом они отправляются в Караганду для их оценки и восстановления. Отремонтированная деталь возвращается на предприятие и при необходимости вновь вводится в эксплуатацию. Затем процесс повторяется. Технические специалисты компании FLS также могут оценить изношенное оборудование и предоставить рекомендации по повышению производительности и эффективности, а дополнительные отчеты о восстановлении помогают предприятиям отслеживать характер износа и планировать обслуживание.

Компания расширяет свою сервисную площадку в Караганде за счет строительства отдельного сборочного цеха и складских помещений. Это позволит увеличить объем работ по капитальному и текущему ремонту оборудования, сократить время выполнения заказов и одновременно обслуживать больше клиентов. Расширение сервисного центра также позволит справляться с более крупными проектами и увеличит объем поставок запасных частей и сервисных предложений для удовлетворения растущего спроса клиентов.

Преимущества региональных сервисных центров

Региональные сервисные центры дают значительные преимущества горнодобывающим предприятиям, в частности экономическую эффективность и скорость. Расположенный поблизости сервисный центр сокращает время и расходы на транспортировку, а также упрощает логистику запасных частей и оборудования. Быстрые сроки ремонта и местная сервисная команда позволяют быстрее решать проблемы и снижать потенциальные простои. Кроме того, теперь нет необходимости в дорогостоящих международных поездках, что делает выездной сервис более доступным.



Еще одним важным преимуществом является знание местных условий. Сотрудники FLS в Караганде лучше понимают особенности горнодобывающего сектора Центральной Азии, что позволяет предлагать им индивидуальные решения, соответствующие региональным условиям. Кроме того, местные команды лучше ориентируются в культурных и деловых традициях региона, что улучшает сотрудничество и коммуникацию между поставщиком услуг и горно-обогатительными комбинатами.

Близость и знание местной специфики, наряду с глубоким пониманием продукции OEM-производителем, помогает эффективному практическому обучению на производственных площадках. Это способствует передаче знаний, повышению квалификации персонала горно-обогатительных комбинатов и улучшению общих эксплуатационных показателей. Местные специалисты FLS помогают предприятиям разбираться в региональных нормах и стандартах безопасности, обеспечивая их соответствие требованиям и снижая юридические риски. В то же время регулярная поддержка со стороны FLS способствует созданию более безопасных условий труда и снижению уровня несчастных случаев. Наконец, сервисный центр в Караганде также укрепляет долгосрочные партнерские отношения между FLS и горнодобывающими компаниями. Такое сотрудничество стимулирует постоянное совершенствование процессов и внедрение инноваций для устойчивого развития отрасли.

Дополнительный выездной сервис

В дополнение к сервисным предложениям, предоставляемым в Караганде, компания FLS предлагает несколько дополнительных сервисных услуг на площадках заказчиков для поддержки насосов, гидроциклонов и запорной арматуры:

- Поддержка при монтаже и вводе в эксплуатацию на площадке заказчика для обеспечения правильной настройки и проверки работы систем в соответствии с проектными характеристиками.
- Плановое и аварийное техническое обслуживание и ремонт для предотвращения незапланированных простоев и быстрого реагирования в случае отказа оборудования.
- Аудит и модернизация систем для оценки производительности оборудования, выявления областей улучшения



и рекомендации по модификации с учетом операционных потребностей.

- Устранение неполадок и диагностическое тестирование на площадке, чтобы выявить неэффективность или неисправности и предложить решения.

Цифровая поддержка сервисных услуг

Цифровые решения становятся все более значимыми для послепродажной поддержки и обслуживания оборудования, а системы удаленного мониторинга и прогнозного обслуживания играют ключевую роль в повышении его производительности. Используя такие решения, как датчики для обнаружения канатной разгрузки и износа KREBS® SmartCyclone и систему мониторинга работы насосов KREBS® Smart Pumps, FLS может непрерывно контролировать работу насосов и гидроциклонов, что позволяет выявлять потенциальные проблемы на ранних этапах до возникновения поломок. В удаленных районах Центральной Азии, где доступ к специалистам ограничен, дистанционный мониторинг обеспечивает постоянную передачу данных в FLS, позволяя экспертам компании оказывать поддержку без физического присутствия на объекте.

Кроме того, FLS предлагает удаленную экспертную помощь через видеозвонки и виртуальную диагностику. При возникновении вопросов клиенты могут связаться с инженерами и техническими специалистами FLS напрямую. Благодаря технологии дополненной реальности (AR) и видеоконференциям эксперты помогают персоналу объекта выполнять сложные операции по обслуживанию

и ремонту, снижая необходимость в поездках и ускоряя решение проблем. Облачные платформы обеспечивают мгновенный доступ к важной операционной и технической информации, независимо от местоположения объекта.

Еще одним важным направлением применения цифровых решений в ежедневной деятельности является повышение качества принятия решений. Благодаря передовой аналитике и алгоритмам машинного обучения, которые обрабатывают большие объемы данных, собираемых на производствах ежедневно, компания FLS помогает клиентам оптимизировать управление производственными процессами. Это способствует снижению энергопотребления, улучшению производственных процессов и максимизации производительности оборудования.

Устойчивое развитие через послепродажное обслуживание

Помимо повышения производительности, услуги FLS по послепродажному обслуживанию существенно способствуют устойчивому развитию горнодобывающих предприятий Центральной Азии. Оптимизируя работу оборудования и обеспечивая эффективное использование ресурсов, FLS помогает снижать воздействие на окружающую среду, позволяя горно-обогатительным комбинатам:

- сокращать энергопотребление и снижать выбросы CO_2 , поддерживая оборудование в оптимальном рабочем состоянии. Это особенно актуально для Центральной Азии, где энергоресурсы часто ограничены и дорогостоящи;
- повышать эффективность управления хвостохранилищами и водными ресурсами, что крайне важно для минимизации экологического воздействия в засушливых регионах Центральной Азии. В рамках послепродажного обслуживания FLS предлагает технологии, такие как циклонные сепараторы и системы регенерации воды, которые очищают и возвращают воду в оборот, уменьшая потребность в пресной воде и снижая затраты на ее подготовку. Также компания помогает оптимизировать управление хвостохранилищами и снижать экологические риски.

Заключение

Послепродажное обслуживание FLS, включая сервисный центр в Караганде, укрепляет позиции горнодобывающих компаний Центральной Азии, повышая операционную эффективность и способствуя устойчивому развитию региона.



ШЭЛА

РОССИЙСКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ГОРНО-ШАХТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



Комплектные распределительные устройства
КРУ-РН-ВВ 6 кВ 1250 А



Комплектные трансформаторные подстанции рудничные
КТП-РН до 1250 кВА



Комплектное распределительное устройство моноблок
КРУ-РН-ММ 6кВ 630А



Ячейки карьерные наружной установки
отдельностоящее
ЯКНО 6(10) кВ

ТРЕБУЕТСЯ

ТОРГОВЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ
В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

shela@shela71.ru
www.shela71.ru



Комплектное распределительное устройство взрывозащищенное
КРУВ 6 кВ 1000 А

Приглашаем посетить наш стенд на выставке
Mining & Metals Central Asia 2025,
с 17 по 19 сентября 2025 в ВЦ "Атакент", Алматы, Казахстан

СВАРКА ВЫСОКОГО ПОЛЕТА: ESAB ПРЕДСТАВИТ НОВЫЕ РЕШЕНИЯ НА MINING AND METALS CENTRAL ASIA 2025

С 17 по 19 сентября в Казахстанском центре делового сотрудничества «Атакент» в Алматы пройдет выставка Mining and Metals Central Asia 2025. В «сердце Казахстана», где сохранилась память о вековых традициях, а современность требует безупречной надежности технологий, ведущие компании представят необходимые решения для горнодобывающей отрасли, в том числе инновации в области сварки и резки металла. Международный производитель ESAB презентует на выставке сварочное оборудование и расходные материалы для различных производственных задач.

Электроды FALCON 6013: крылья для мастеров сварочного дела

История FALCON 6013 началась с простого вопроса: как превратить сложное в доступное? Название новинки (в переводе с английского falcon – «сокол») – неслучайно. Так же, как птица для охотника беркутчи в бескрайней степи, FALCON 6013 станет для сварщика надежным и быстрым помощником, на которого можно положиться даже в нестандартных сварочных задачах. Электроды с рутиловым покрытием для ручной электродуговой сварки пригодятся как на строительных площадках, монтаже трубопроводов и иных инженерных сетей и коммуникаций,



так и в домашней мастерской, автомобильном ремонте и других сферах.

Характеристики расходного материала позволяют даже начинающему сварщику работать с углеродистыми и низколегированными конструкционными сталями во всех пространственных положениях. FALCON 6013 – это всегда готовность к работе: не требуют прокалки, легко справляются с неподготовленными – окисленными или влажными – поверхностями. Как результат – красивый



сварочный шов. Простота розжига и стабильность горения дуги превращают сварочный процесс в точную, выверенную работу. Кроме этого, FALCON 6013 обеспечивают максимальную производительность сварки: стабильную работу во всем диапазоне сварочных токов и минимальное разбрызгивание металла.

«FALCON 6013 – ответ ESAB на вопрос: как не ошибиться в сложном многообразии? Их главные характеристики – надежность, простота, безопасность. К тому же электроды изготовлены из натуральных минеральных компонентов, благодаря чему сварочный дым менее вреден, чем у аналогов. Как сокол в небе помогает охотнику достичь цели, так и FALCON 6013 даже в руках новичка превращает сварочный шов в достойный трофей», – поделился **руководитель направления ремонта и восстановления компании ESAB Давид Пак.**

Индустриальные новинки для гигантов промышленности

В то время как FALCON 6013 расширяет возможности каждого сварщика, профессиональная линейка ESAB пополняет арсенал предприятий тяжелой промышленности новыми решениями, отвечающими требованиям к надежности, производительности и бесперебойности работы.

На Mining and Metals Central Asia будет представлен промышленный инверторный источник Transmig 500DP для сварки углеродистых, нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов. Модель рассчитана на непрерывную работу 24/7 и обеспечивает 100% продолжительности нагрузки на максимальном токе 500 А.

Инверторный полуавтомат ESAB RUSTLER EM455i также предназначен для сварки сталей и алюминия, с диапазоном токов MIG/MAG – от 30 до 420 А, MMA – до 350 А. Аппарат оснащен режимами 2T/4T для контроля над короткими и длинными швами, регулировкой индуктивности для тонкой настройки характера дуги под материал и задачу, режимом плавного старта и функцией отжига проволоки для предотвращения ее приваривания к сварочной ванне.

Надежная сварка при любых переменных – от полевых задач до цеха

Экспозицию дополняют специализированные сварочные материалы для работы при интенсивной производственной нагрузке или в сложных климатических условиях выездных работ. Компания представит электроды ОК 48Р с увеличенной на 11% производительностью, новый электрод для сварки нержавеющей сталей ОК 61.30Р, основной наплавочный электрод для горняков Т-590, а также УОНИИ 13/55 в упаковке VacPac, которая защищает материал от внешних воздействий и сохраняет его готовность к работе без предварительной прокалки.

Пополнится и линейка сварочной проволоки: Weld G3Si1 – экономичное решение для основных работ, наплавочная проволока Weld O-100 с трехкратно увеличенной производительностью, SV-08G2S – специализированное решение для горной промышленности и ОК PRO 71 – порошковая проволока для повышения производительности при сварке в пространственных положениях.



«В этом году мы подготовили ряд новинок, которые разработаны для решения широкого спектра производственных задач, работы в непредсказуемых условиях горного предприятия, не забывая и об универсальных инструментах сварщика. По нашему опыту, специалисты Центральной Азии особо ценят надежность и производительность оборудования, способного быть верным напарником и в полевых условиях, и на стационарном рабочем месте. Продукция ESAB соответствует международным стандартам безопасности, что обеспечивает соблюдение требований охраны труда и сохранение здоровья сварщиков без потери эффективности», – рассказала **Екатерина Татарникова, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.**

ESAB – компания со 121-летней историей – в каждом новом решении отдает дань преемственности, а также культуре мастерства региона присутствия. Даже в эпоху высокоточных автоматов рука мастера остается главным инструментом, а надежный «сокол» в виде новых технологий превращает сварку в движущую силу роста производства даже в самых сложных промышленных отраслях.



СТАЛЬ HARDOX®: ГАРАНТИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИЛИ РИСК ПОДДЕЛКИ? ОТВЕТСТВЕННЫЙ ВЫБОР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В условиях интенсивной эксплуатации техники в горнодобывающей, строительной и транспортной отраслях Центральной Азии износостойкость материалов выходит на первый план. Сталь Hardox® от производителя из Швеции SSAB уже несколько десятилетий является мировым эталоном надежности для самосвальных кузовов, ковшей, землеройного и перерабатывающего оборудования. Однако рост спроса порождает риск: на рынке появляются аналоги и откровенные подделки, сулящие экономию, но таящие серьезные угрозы. Почему выбор в пользу оригинальной стали Hardox® – это инвестиция в безопасность, эффективность и долгосрочную рентабельность?

Секрет стали Hardox®: где кроется истинная ценность?

Произвести твердую сталь технически под силу многим. Ключевое отличие стали Hardox® – не в номинальной твердости (350–600 ед. по Бринеллю), а в уникальном балансе свойств, достигнутом SSAB за десятилетия

научных исследований и практики. Высокая твердость сама по себе имеет обратную сторону: она часто снижает ударную вязкость и пластичность, делая сталь хрупкой под нагрузкой.

Инженеры SSAB решили эту дилемму. Они оптимизировали химический состав и отработали технологию прокатки и закалки до совершенства. Результат – сталь, которая не просто тверда, но и устойчива к растрескиванию (особенно после сварки), обладает предсказуемым поведением при гибке и резке и имеет минимальное внутреннее напряжение. Именно этот комплекс гарантированных свойств – устойчивость к абразивному износу в сочетании со способностью выдерживать ударные нагрузки и вибрацию – обеспечивает беспрецедентный срок службы конструкций в тяжелых условиях казахстанских карьеров,строек и дорог. Линейка сталей Hardox® (включая Hardox® HiAce для агрессивных сред и Hardox® HiTemp для высоких температур) – это не просто металлопрокат, это инженерные решения с предсказуемым результатом.

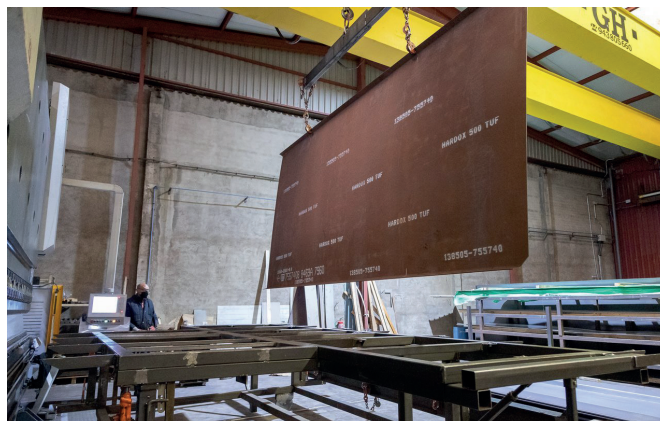


Тихий саботаж: чем опасны аналоги и подделки?

Использование поддельной стали под маркой Hardox® несет серьезные и масштабируемые риски для предприятий, особенно при работе с дорогостоящей техникой и ответственными проектами. Первым и самым наглядным ударом становится катастрофическое сокращение срока службы оборудования: ускоренный абразивный износ провоцирует частые, дорогостоящие простои на ремонты и досрочную замену узлов, многократно увеличивающее совокупную стоимость владения. Еще более критичны угрозы безопасности: снижение ударной вязкости и непредсказуемость материала под нагрузкой (особенно в суровых климатических и эксплуатационных условиях) резко повышают риск внезапного разрушения конструкций, создавая прямую опасность для персонала. Параллельно предприятие сталкивается с производственными сбоями: несоответствие заявленным параметрам твердости и свариваемости нарушает технологические процессы и приводит к появлению брака. Финал этой цепочки – тяжелый репутационный урон, когда техника, сделанная из контрафакта, выходит из строя у конечного потребителя. Важно осознать: первоначальная «экономия» на подделке – иллюзия. Затраты на аварийный ремонт, простои и замену узлов быстро превращают мнимую выгоду в катастрофические финансовые потери, многократно превышающие цену оригинала стали Hardox®.

Как гарантировать подлинность стали Hardox®?

Ключевыми физическими характеристиками подлинной стали Hardox® являются исключительная плоскостность, соответствующая строгому стандарту EN 10029, и минимальные допуски по толщине, что критически важно для точного инженерного расчета веса и запаса прочности конструкции. Поверхность листов часто, хотя и не всегда, покрыта легко узнаваемым грунтом красного цвета. Обязательным сопроводительным документом является оригинальный сертификат соответствия SSAB, в котором детально указаны все заявленные механические и химические свойства стали, номер плавки и результаты проведенных испытаний – настоятельно рекомендуется требовать этот сертификат и тщательно сверять его данные с информацией на маркировке листа. Самым важным и единственным фактором гарантии является выбор правильного канала поставки: подлинную сталь Hardox® производит исключительно SSAB. Поэтому приобретать ее следует только напрямую у SSAB или у официально сертифицированных компанией дилеров и дистрибьюторов – это единственный способ быть уверенным в качестве и происхождении материала.



Локальные склады SSAB: оперативность и гарантии для предприятий Центральной Азии

Стратегическое решение SSAB об открытии локальных складских мощностей в Центральной Азии напрямую отвечает потребностям промышленности региона. Наличие на складе марок износостойкой стали Hardox®, включая высокопрочную сталь Hardox® 500 Tuf, обеспечивает беспрецедентную скорость поставок – часто в течение 24–48 часов после заказа. Это кардинально сокращает производственные простои и расширяет возможности планирования для предприятий горнодобывающего, строительного и транспортного секторов региона.

Удобство заказа дополняется полным логистическим сопровождением от специалистов SSAB. Локальные склады – это гарантированный доступ регионального бизнеса к оригинальной стали Hardox® мирового класса, подкрепленный скоростью, надежностью и экспертной поддержкой, что создает реальное конкурентное преимущество.

Выбор стали Hardox® – это ответственное решение, влияющее на безопасность, производительность, экологичность (за счет снижения веса конструкций и увеличения срока их службы) и, в конечном итоге, на прибыльность бизнеса. Подделки и некачественные аналоги предлагают мнимую экономию сегодня, чтобы завтра обернуться многомиллионными убытками и репутационными рисками.

Для промышленности Центральной Азии, работающей в тяжелых условиях, доступ к оригинальной стали Hardox® через локальные склады SSAB означает не только гарантию высочайшего качества и соответствия заявленным характеристикам, но и оперативность, надежность поставок, а также партнерство с мировым лидером, чей подход формирует прочную основу долговечности и эффективности современной техники. В мире, где надежность – ключевая валюта, оригинальная сталь Hardox® остается безальтернативным выбором для ответственных производителей.

Код МРНТИ 52.13.17:52.13.04

*С.К. Молдабаев, Г.Н. Асылханова, А.С. Молдабаев, С.А. Асылханова
 НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет
 им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

СЕКТОРАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ПРОГРАММЕ RS3 КОМПАНИИ ROCSCIENCE

Аннотация. В статье приведена методология секторального моделирования по периметру открытой горной выработки в программе RS3 компании Rocscience. Макромодель разбивается на секторальные модели меньшего масштаба радиально ориентированными плоскостями так, чтобы охватить потенциально неустойчивые области борта. Упругопластическая модель среды и критерий прочности Кулона-Мора реализованы в кодах программы RS3. Впервые на основе двухуровневого моделирования показано различие в определении коэффициента запаса устойчивости в зависимости от масштаба модели и степени отражения структуры грунтово-породного массива. Установлено распределение показателя устойчивости борта по периметру карьера и локализованы потенциальные поверхности скольжения в каждом из выделенных секторов карьера на основе процедуры «снижения сдвиговой прочности» (Shear Strength Reduction).

Ключевые слова: рудный карьер, массив горных пород, устойчивость борта, деформация, метод конечных элементов, численное 3D моделирование геомеханических процессов, поле напряжений, сдвиг, трещиноватость.

Rocscience компаниясының RS3 бағдарламасында ашық тау-кен қазбасын секторлық модельдеу

Андатпа. Мақалада Rocscience компаниясының RS3 бағдарламасында ашық кеніштің периметрі бойынша секторлық модельдеу әдістемесі берілген. Макромодель тақтаның ықтимал тұрақсыз аймақтарын қамту үшін радиалды бағытталған жазықтықтар бойынша кішірек масштабтағы салалық модельдерге бөлінген. Ортаның эластопластикалық моделі және Кулон-Мор беріктік критерийі RS3 бағдарлама кодтарында жүзеге асырылады. Алғаш рет екі деңгейлі модельдеу негізінде модельдің масштабы мен топырақ-тау жынысы массивінің құрылымының шағылысу дәрежесіне байланысты тұрақтылық коэффициентін анықтаудағы айырмашылық көрсетілген. Карьердің периметрі бойынша карьер беткейі тұрақтылығының таралу көрсеткіштері белгіленді және «сығу беріктігін төмендету» процедурасы негізінде карьердің әрбір таңдалған секторында потенциалды сырғанау беттері анықталды.

Түйінді сөздер: кен карьері, тау-кен жыныстарының сілемі, карьер беткейінің орнықтылығы, деформация, соңғы элементтер әдісі, геомеханикалық процестерді 3D сандық модельдеу, кернеу өрісі, ығысу, жарықшақтық.

Sectoral modeling of open mining in RS3 program by Rocscience

Abstract. The article presents the methodology of sector modeling along the perimeter of an open-pit mine in the RS3 program from Rocscience. The finite element 3D analysis of the stress-strain state (SSS) of the soil and rock mass is determined based on models of different scales. The macro-level model includes the entire quarry bowl and allows for a primary stability assessment due to changes in the general slope angle of the side along the quarry perimeter. The macro-model is then broken down into smaller-scale sector models by radially oriented planes so as to cover potentially unstable areas of the side. Sector models allow for a more detailed display of a complex line of benches, as well as simulating the layered structure of the massif. The elastic-plastic model of the medium and the Coulomb-Mohr strength criterion are implemented in the RS3 program codes. The distribution of the edge stability index along the quarry perimeter was determined and potential sliding surfaces were localized in each of the selected quarry sectors based on the «Shear Strength Reduction» procedure.

Key words: iron ore quarry, rock mass, side stability, deformation, finite element method, numerical 3D modeling of geomechanical processes, stress field, shear, fracturing.

Введение

При компьютерной реализации конечно-элементного моделирования на макроуровне в данных исследованиях используется рабочая станция, оснащенная 128 ГБ оперативной памяти. При этом максимально допустимое количество конечных элементов составляет 1–1,5 млн шт., а диаметр каждого конечного элемента – порядка 50 м, что приводит к значительной потере точности вычислений и не позволяет детально оценить распределение напряжений и деформаций для каждого уступа исследуемой области. Для детального моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива в области, представляющей повышенный интерес с точки зрения потенциальной потери устойчивости, необходим переход к секторальным моделям, в которых за счет уменьшения размеров объекта исследования можно реализовать разбиение модели на конечные элементы меньшего диаметра (10–15 м) [1].

Расчет НДС прибортового породного массива сверхглубокого карьера выполняется методом конечных элементов. При современном развитии вычислительной техники предпочтение следует отдать 3D численным моделям для учета полного тензора напряжений и деформаций, определяющих устойчивость откосов [2]. Это тем более актуально для карьеров округлой формы. Авторы [3], используя алгоритм конечных разностей, реализованный в программе FLACK 3D, также показывают преимущества

пространственного определения НДС породного массива при оценке устойчивости бортов карьера. Поэтому для создания конечно-элементной модели использован лицензионный программный комплекс RS3 Rocscience, в который экспортированы цифровые 3D контуры карьера.

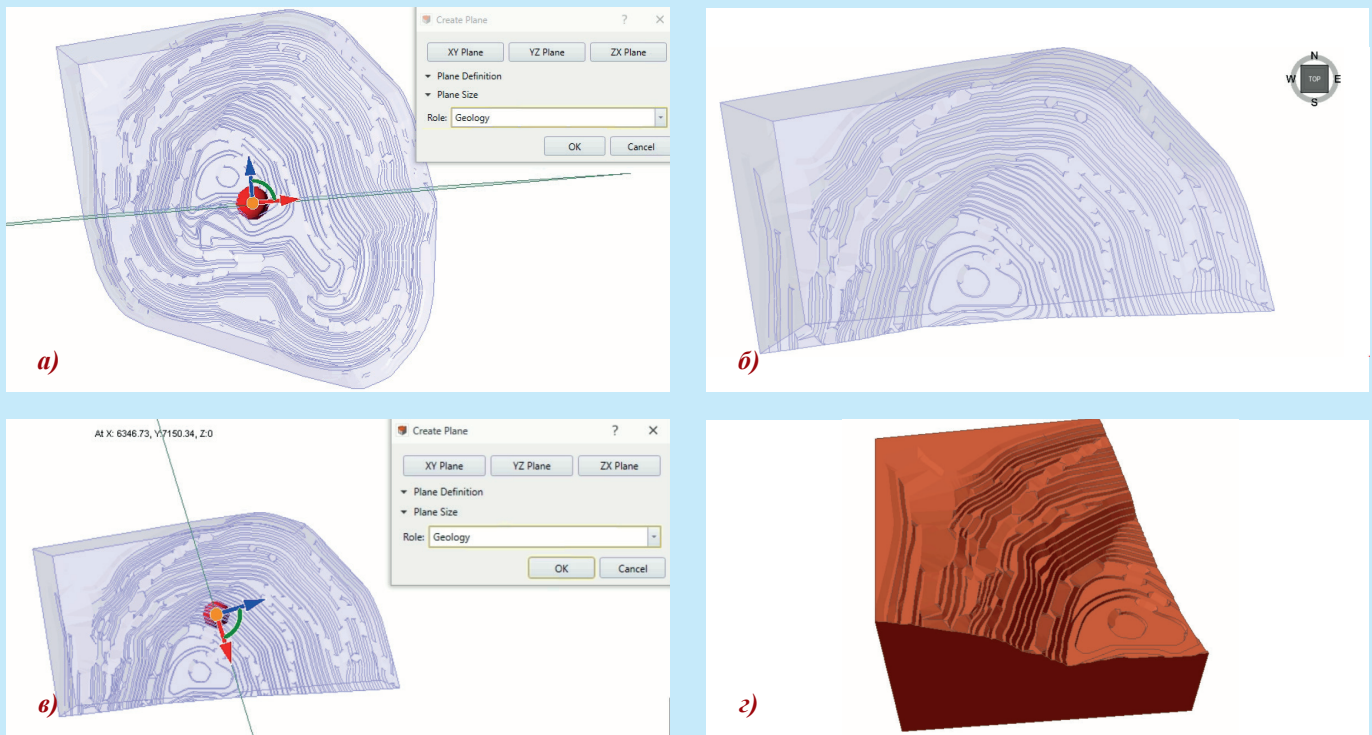
Создание секторальных моделей из моделей макроуровня

При создании секторальной модели будем следовать двум принципам:

- значимости – модель должна охватывать всю область, представляющую практически-весомый интерес с точки зрения повышенной потенциальной потери устойчивости;
- экономичности – физические размеры модели должны быть минимальными (при соблюдении первого принципа), что позволит использовать детальную конечно-элементную сетку, состоящую из элементов малого диаметра.

Для практической реализации этих принципов разобьем модель макроуровня двумя вертикальными плоскостями так, чтобы выделяемый сектор полностью включал в себя потенциальную зону потери устойчивости, которая визуальным образом определяется на внешнем контуре модели измененной цветовой гаммой, плюс 5% ширины этой области по обеим сторонам сектора (рис. 1).

Модель, представленная на рисунке 1 (з), разбивается на конечные элементы тетраэдрной формы, диаметр элементов 10–15 м (рис. 2).



*а – сечение 1-й плоскостью; б – результат вычитания множеств;
в – сечение 2-й плоскостью; г – секторальная модель*

Рис. 1. Создание секторальной модели.

Сурет 1. Салалық модельді құру.

Figure 1. Creation of a sectoral model.

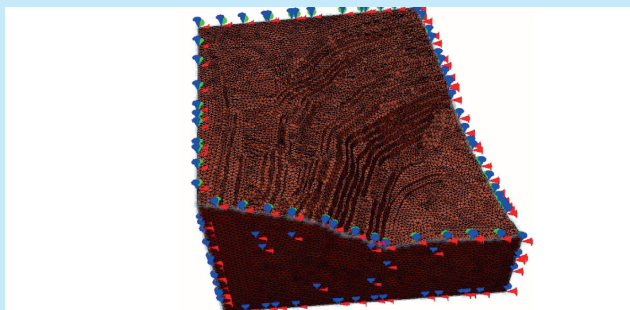


Рис. 2. Расчетная схема секторальной модели.

Сурет 2. Салалық модельдің есептеу диаграммасы.

Figure 2. Calculation scheme of the sectoral model.

Конечно-элементный анализ НДС породно-грунтового массива выполняется в упругопластической постановке на основе критерия прочности Кулона-Мора [4], который широко используется в задачах геомеханики наряду с критерием Хока-Брауна [5, 6].

Устойчивость борта карьера оценивается с помощью процедуры Shear Strength Reduction (снижение сдвиговой прочности), подробно описанной в [7].

Основным ключевым отличием данной работы от известных в мировой практике с использованием программ Rocscience является разработка метода секторального исследования напряженно-деформированного состояния обобщенной 3D модели на основе создания квазистатической последовательности моделей, имитирующих поэтапное развитие горных работ до предельного контура

карьера. Базируется на пространственно-временном подходе исследования численной (конечно-элементной) геомеханической модели глубокой открытой горной выработки.

Методология построения геомеханических моделей предполагает выполнение трех крупных этапов:

- подготовка в цифровом формате исходных данных – контуров карьера и геологического строения массива с использованием интегрированного горно-геологического комплекса Surpac;
- экспорт данных в модуль построения конечно-элементных пространственно-секторальных моделей (лицензионный программный комплекс RS3 Rocscience);
- исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в окрестности открытой горной выработки.

В свою очередь создание конечно-элементных 3D моделей и анализ на их основе НДС породно-грунтового массива предполагает вовлечение разных уровней построения моделей. Алгоритм разноуровневого моделирования предполагает следующие этапы:

- создание обобщенной численной модели всей чаши карьера (модель макроуровня), конечно-элементная сетка которой состоит из крупных элементов-тетраэдров с линейным размером 40–50 м (допустимое количество конечных элементов составляет 1–1,5 млн шт.), что, однако, позволяет отразить общую геометрию контуров карьера. На этой стадии для сокращения количества внутренних границ моделируется однородный массив. Экономичность этой модели (в отношении времени расчетов и занимаемой памяти компьютера) – дать первичную

оценку устойчивости бортов по всему периметру карьера и сразу выделить опасные участки, обусловленные генеральным углом наклона борта;

- совмещение контуров карьера с границами рудного тела и наложение контуров пород вскрыши на геометрию модели на макроуровне в привязке к системе координат. Этот этап усложняет модель, добавляя внутренние границы, что сопровождается увеличением густоты сетки. Вводятся физико-механические свойства руды и пород вскрыши. НДС массива и коэффициент запаса устойчивости пересчитывается с учетом перераспределения напряжений за счет различной жесткости слоев. Определяются участки с потенциальным снижением запаса устойчивости;

- выполняется секторальное разбиение всей чаши карьера по принципу охвата потенциально опасных участков. Секторы выделяются вертикальными плоскостями, веерообразно исходящими из центра карьера. Таким образом, создаются модели меньшего масштабного уровня. Выделяемый сектор должен полностью включать в себя потенциальную зону потери устойчивости, которая визуальнo определяется на внешнем контуре модели измененной цветовой гаммой, плюс 5% ширины этой области по обеим сторонам сектора. Уменьшение масштаба модели позволяет снизить размер конечных элементов-тетраэдров до 10–15 м. На этом этапе вводится вся доступная геологическая информация о слабых прослойках, разрывных нарушениях, зон опережающей трещиноватости. Выполняется наиболее детальный анализ деформационных процессов в слоистом массиве, в окрестности геологических нарушений. Выявляются зоны возможного формирования поверхностей скольжения, не выявленные на макромоделли всей чаши карьера.

Метод предполагает, что после построения модели прочность на сдвиг всех материальных компонентов итеративно увеличиваются или уменьшаются в SRF раз до тех пор, пока не произойдет коллапс модели, который проявляется в резком изменении смещений в контрольной точке и расхождении итерационного процесса при решении основной системы уравнений, составляющей основу МКЭ. Таким образом, величина SRF показывает, во сколько раз нужно изменить прочность породно-грунтового массива, чтобы произошло обрушение откоса, то есть представляет собой аналог коэффициента запаса устойчивости (КЗУ). Именно коэффициент SRF анализируется в дальнейшем как основная величина, характеризующая устойчивость борта карьера.

Общая картина распределения перемещений по всему периметру карьера и локализация поверхности скольжения на конечной глубине карьера показывает, что наименьшее значение коэффициента запаса устойчивости SRF (КЗУ) по всему периметру составляет 1.53, и имеет место в Южной части карьера (S). В соответствии с нормами проектирования, КЗУ не должен превышать значение 1.3. Поэтому при $KZU = 1.53$ можно полагать, борт карьера в среднем по периметру достаточно устойчив. Однако, в соответствии с разработанной методикой, для более точного моделирования геометрии уступов и учета влияния различной жесткости породных слоев выполнено разбиение модели на секторы и наполнение каждой секторальной модели дополнительной информацией о границах слоев и их физико-механических свойствах. Это позволило для каждого выделенного секто-

ра оценить устойчивость борта (рис. 3). Как и для первых этапов, детализация контуров и структуры породного массива обусловила различия в наименьшем КЗУ для макромоделли и КЗУ для каждой секторальной модели.

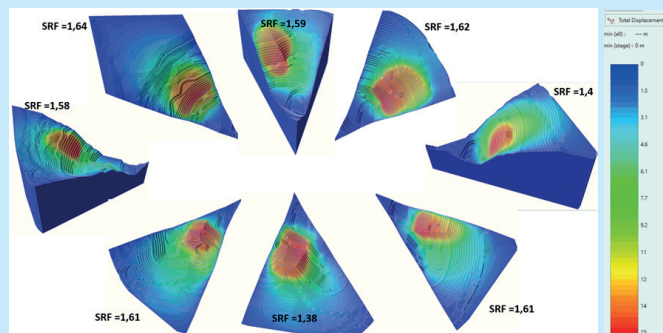


Рис. 3. Распределение смещений, локализация поверхностей скольжения и определение КЗУ для секторальных моделей на конечной глубине карьера.

Сурет 3. Карьердің соңғы тереңдігінде орын ауыстырудың бөлу, сырғу беттерін локализациялау және салалық модельдер үшін ТКҚ анықтау.

Figure 3. Distribution of displacements, localization of sliding surfaces and determination of the KZU for sector models at the final depth of the quarry.

Так, для секторов Южный (S) и Восточный (E) КЗУ в соответствующих моделях снизился до значения 1.47 и 1.49 против значения 1.53 для обобщенной модели конечного контура карьера. То есть, КЗУ снизился на 2.5–3.9% только за счет более точного представления линии уступов. Включение в модели слоев с различными физико-механическими свойствами обусловило снижение КЗУ в секторе Южный (S) до значения 1.38, то есть на 9.6%, в секторе «Восточный» (E) – до 1.4, то есть на 8.5%.

Полученные результаты показывают, что конечные контуры карьера удовлетворяют нормам проектирования по геомеханическому фактору. Угол откоса бортов, обеспечивающий их устойчивое состояние, находится в пределах 29–30°.

Несмотря на то, что КЗУ = 1.38 не ниже нормативного $KZU_n = 1.3$, ситуация с обеспечением устойчивости борта на нижних горизонтах должна постоянно контролироваться маркшейдерской службой с привлечением геофизических методов. Значение КЗУ = 1.38 получено на основе детерминистического подхода, где вариация физико-механических свойств не учитывается. При этом множество авторов сфокусированы на вероятностной оценке потери устойчивости [8, 9], которая показывает, что за счет стохастического разброса свойств показатель устойчивости также варьирует в диапазоне, который функционально связан с диапазоном вариации свойства пород. Поэтому оптимизация карьерных контуров не предполагает выполнение борта карьера как из соображений безопасности (снижение запаса устойчивости ниже нормативного) и экономических (ограничение коэффициента вскрыши), так и экологических (ограничение разноса бортов и горного отвода).

Следует отметить успешность геомеханических прогнозов, которые не только строятся на апробированных алгорит-

мах (в частности, МКЭ) и программном обеспечении, но и верифицируются полным комплексом изыскательских работ с применением аэрофотосъемки [10], расшифровки космических снимков с привлечением методов искусственного интеллекта, сейсмоакустического прогноза.

Выводы

Для условий сверхглубокого карьера, имеющего округлую форму, показана целесообразность двухуровневого математического моделирования на основе численных методов, в частности МКЭ. Последнее означает создание макромодели всей чаши карьера и определение на ее основе участков борта, где потенциальное формирование поверхности скольжения наиболее вероятно. Более точная оценка устойчивости бортов по всему периметру карьера требует разделения макромодели на отдельные секторы с детальным моделированием линии уступов и слоистой структуры породно-грунтового массива. Уменьшение

масштаба секторальных моделей, то есть более детальное отображение геометрии борта, привело к снижению показателя устойчивости борта в пределах 2.5–3.8% по сравнению с тем минимальным КЗУ, который получен для макромодели. Моделирование в секторальных моделях слоистой структуры массива обусловило снижение КЗУ на 12–13% по сравнению с макромоделью в тех секторах, где структура массива включала более слабые породы, в частности песчаник.

Благодарность

Работа выполнена по проекту грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН AP26198535 «Обеспечение безопасного подземного извлечения драгоценных металлов на основе цифрового моделирования сети пересекающихся выработок и анализа большого массива данных».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Численное моделирование устойчивости карьера на основе вероятностного подхода / Молдабаев С.К. [и др.] // Научный вестник Национального горного университета. 2021. Т. 6. С. 29–34 (на английском языке)
2. Калибровка трехмерной оценки устойчивости склона в бразильском железном карьере / Торрес В.Ф.Н. [и др.] // Геотехническая и геологическая инженерия. 2023. Т. 41 (6). С. 3829–3846 (на английском языке)
3. Ван С., Чжан Ц., Ван С. Прогнозирование коэффициента устойчивости откосов карьера на основе алгоритма глубокого обучения искусственного интеллекта // Sci Rep. 2023. Т. 13. С. 1201 (на английском языке)
4. Влияние всасывания почвенной матрицы на устойчивость склона под различными типами растительности / Ван С. [и др.] // J Soils Sediments. 2024. Т. 24. С. 575–588 (на английском языке)
5. 3D предельный анализ скальных склонов на основе эквивалентного линейного критерия разрушения с отсечкой по напряжению / Чжибин Сан [и др.] // Журнал механики горных пород и геотехнической инженерии. 2023. Т. 15 (12). С. 3118–3130 (на английском языке)
6. Демирдоген С., Йилдирим С. Фактор возмущения критерия разрушения Хука-Брауна в основаниях плотин // Geotech Geol Eng. 2024. Т. 42. С. 817–882 (на английском языке)
7. Дехган А.Н., Язди А. Геомеханическое исследование для оптимизации окончательного дизайна откоса карьера Шадан, Иран // Indian Geotech. 2023. Т. 53. С. 859–887 (на английском языке)
8. Установка параметров прочности при анализе устойчивости откоса открытого карьера с использованием метода случайного набора на шахте по добыче лигнита Белхатув, Центральная Польша / Пилецка Е. [и др.] // Energies. 2021. Т. 14 (15). С. 46090 (на английском языке)
9. Абдулаи М., Шарифзаде М. Вероятностные методы проектирования устойчивости откосов карьеров: обзор // Geosciences (Швейцария). 2021. Т. 11 (8). С. 319 (на английском языке)
10. Анализ временных рядов с помощью инфракрасной съемки для мониторинга устойчивости склонов с использованием Sentinel-1 при открытой разработке месторождений / Хаупт С. [и др.] // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2023. Т. XLVIII-1/W2-2023. С. 945–951 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ықтималдық тәсілге негізделген карьер тұрақтылығын сандық модельдеу / Молдабаев С.Қ. [және т. б.] // Тау-кен ісі ұлттық университетінің ғылыми хабаршысы. 2021. Т. (6). Б. 29–34 (ағылшын тілінде)
2. Бразилиялық темір карьеріндегі еңіс тұрақтылығын үш өлшемді бағалауды калибрлеу / Торрес В.Ф.Н. [және т. б.] // Геотехникалық және геологиялық инженерия. 2023. Т. 41 (6). Б. 3829–3846 (ағылшын тілінде)
3. Ван С., Чжан З., Ван С. Жасанды интеллект терең оқыту алгоритмі негізінде карьер еңісінің тұрақтылық коэффициентін болжау // Sci Rep. 2023. Т. 13. Б. 1201 (ағылшын тілінде)
4. Топырақ матрицасының соруының өсімдіктердің әртүрлі түрлері кезіндегі еңіс тұрақтылығына әсері / Ван С. [және т. б.] // J Soils Sediments. 2024. Т. 24. Б. 575–588 (ағылшын тілінде)
5. Кернеу кесіндісі бар эквивалентті сызықтық бұзылу критерийіне негізделген тау жыныстарының беткейлерінің 3D шекті талдауы / Жибин Сун [және т. б.] // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2023. Т. 12 (15). Б. 3118–3130 (ағылшын тілінде)

6. Демирдоген С., Йылдырым С. Бөгет негіздеріндегі Хук-Браун бұзылу критериясының бұзылу факторы // *Geotech Geol Eng.* 2024. Т. 42. Б. 817–882 (ағылшын тілінде)
7. Дехган А.Н., Йазди А. Шадан карьері еңісінің түпкілікті жобасын оңтайландыру үшін геомеханикалық зерттеу, Иран // *Indian Geotech.* 2023. Т. 53. Б. 859–887 (ағылшын тілінде)
8. Белхатув қоңыр көмір кенішінде кездейсоқ орнату әдісін қолдана отырып, ашық карьердегі еңіс тұрақтылығын талдау кезінде беріктік параметрлерін орнату, Орталық Польша / Пилецка Е. [және т. б.] // *Energies.* 2021. Т. 14 (15). Б. 46090 (ағылшын тілінде)
9. Абдулай М., Шарифзаде М. Карьер беткейлерінің тұрақтылығын жобалаудың ықтималдық әдістері: шолу // *Geosciences (Швейцария).* 2021. Т. 11 (8). Б. 319 (ағылшын тілінде)
10. Ашық тау-кен өндірісінде Sentinel-1 көмегімен көлбеу тұрақтылығын бақылау үшін инфрақызыл уақыт серияларын талдау / Хаунт С. [және т. б.] // *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2023. Т. XLVIII-1/W2-2023. Б. 945–951 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Numerical simulation of the open pit stability based on probabilistic approach / Moldabayev S.K. [et al.] // *Scientific Bulletin of the National Mining University.* 2020. V. 6. 29–34 pp. (in English)
2. Calibration of a Three-dimensional Slope Stability Evaluation in Brazilian iron Open Pit Mine / Torres V.F.N. [et al.] // *Geotechnical and Geological Engineering.* 2023. V. 41 (6). 3829–3846 pp. (in English)
3. Wang S., Zhang Q., Wang S. Prediction of quarry slope stability coefficient based on deep learning algorithm of artificial intelligence // *Sci Rep.* 2023. V. 13. 1201 p. (in English)
4. Contribution of soil matric suction on slope stability under different vegetation types / Wang X. [et al.] // *J Soils Sediments.* 2024. V. 24. 575–588 pp. (in English)
5. 3D limit analysis of rock slopes based on equivalent linear failure criterion with tension cut-off / Zhibin Sun [et al.] // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 2023. V. No. 15 (12). 3118–3130 pp. (in English)
6. Demirdogen S., Yildirim S. The Disturbance Factor of Hoek-Brown Failure Criterion in Dam Foundations // *Geotech Geol Eng.* 2024. V. 42. 817–882 pp. (in English)
7. Dehghan A.N., Yazdi A. A Geomechanical Investigation for Optimizing the Ultimate Slope Design of Shadan Open Pit Mine, Iran // *Indian Geotech.* 2023. V. 53. 859–887 pp. (in English)
8. Setting strength parameters in open pit slope stability analysis using random sampling method at Belchatow lignite mine, Central Poland / Pilecka E. [et al.] // *Energies.* 2021. V. 14 (15). 46090 p. (in English)
9. Abdulai M., Sharifzadeh M. Probability methods for stability design of open pit rock slopes: An overview // *Geosciences (Switzerland).* 2021. V. 11 (8). 319 p. (in English)
10. Time series insar analysis for slope stability monitoring using sentinel-1 in open pit mining / Haupt S. [et al.] // *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2023. V. XLVIII-1/W2-2023. 945–951 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Молдабаев С.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), s.moldabayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8913-9014>

Асылханова Г.Н., магистр технических наук, докторант кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), g.assylkhanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9533-7148>

Молдабаев А.С., магистр технических наук, докторант кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), Moldabayev.A@stud.satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0005-1997-263X>

Асылханова С.А., магистр технических наук, докторант кафедры «Горное дело» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), s.assylkhanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-2385-161X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Молдабаев С.К., т.ғ.д., профессор, Satbayev University тау-кен инженериясы кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Асылханова Г.Н., техника ғылымдарының магистрі, тау-кен ісі кафедрасының докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Молдабаев А.С., техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Асылханова С.А., техника ғылымдарының магистрі, тау-кен ісі кафедрасының докторанты Satbayev University тау-кен ісі кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Moldabayev S.K., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Mining Department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Assylkhanova G.N., Master of Engineering Sciences, Doctoral Student, Mining Department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Moldabayev A.S., Master of Engineering Sciences, Doctoral Student, Mining Department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Assylkhanova S.A., Master of Engineering Sciences, PhD student, Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



Тимченкодан
Маркетинг

Маркетингтік
нигилизм
агенттігі

S

+7 705 818 40-65
communication@stimchenko.com
www.stimchenko.kz



МЕНЯЕМ СУТЬ ПРИВЫЧНЫХ ВЕЩЕЙ

Стратегия | Анализ | Репутация | Дизайн | Отраслевые выставки | СМИ

Код МРНТИ 52.35.35

T. Aldubay¹, B. Khussan², *M. Rabatuly²¹Nazarbayev University, Mining Engineering Department (Astana, Kazakhstan),²Non-profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

METHODS OF HARDENING THE LAYING ARRAY AND ACOUSTIC CONTROL OF ITS STABILITY DURING UNDERGROUND MINING

Abstract. Underground excavation produces voids that must be backfilled to provide ground support. Backfilling is widely used in the underground mining industry; however, in many mines, backfill strength design is not properly considered, and detailed laboratory studies are lacking. This paper investigates backfill strength mobilization over time using acoustic emission (AE) monitoring. Cylindrical samples with binder contents of 5%, 10%, 15%, and 20% were cured for 1, 3, 7, 14, and 28 days, then tested under unconfined compression with AE monitoring. Uniaxial compressive strength (UCS) increased with curing time for all binder contents, e.g., from 0.06081 MPa (1 day) to 0.3814 MPa (28 days), about 6.5 times higher. UCS growth rates were similar (~45%) regardless of cement content.

Key words: mining seismicity, crack propagation, microseismic monitoring system, underground mining, acoustic emission, uniaxial compression test.

Жерасты кен орындарын игеру кезінде толтырма сілемін нығайту әдістері және оның тұрақтылығын акустикалық бақылау

Аннотация. Жер асты қазбаларында бос жерлер пайда болады, олар жерге қолдау көрсету үшін қайта толтырылуы керек. Толтыру жерасты тау-кен өнеркәсібінде кеңінен қолданылады; дегенмен, көптеген шахталарда толтыру беріктігінің конструкциясы дұрыс қарастырылмаған және егжей-тегжейлі зертханалық зерттеулер жетіспейді. Бұл мақалада акустикалық эмиссия (АЭ) мониторингін қолдана отырып, уақыт өте келе толтырғыштардың беріктігін жұмылдыру зерттеледі. Құрамында 5%, 10%, 15% және 20% байланыстырғыштары бар цилиндрлік үлгілер 1, 3, 7, 14 және 28 күн бойы өңделді, содан кейін АЭ бақылауымен шексіз қысу жағдайында сыналды. Бір осьті қысу беріктігі (UCS) байланыстырғыштың барлық мазмұнын өңдеу уақытымен бірге өсті, мысалы, 0,06081 МПа-дан (1 күн) 0,3814 МПа-ға (28 күн) дейін, бұл шамамен 6,5 есе жоғары. UCS өсу қарқыны цемент құрамына қарамастан ұқсас болды (~45%).

Түйінді сөздер: тау-кен сейсмикасы, жарықшақтардың таралуы, микросейсмикалық бақылау жүйесі, жерасты тау-кен жұмыстары, акустикалық эмиссия, бір осьті қысу сынағы.

Методы упрочнения закладочного массива и акустический контроль его устойчивости при подземной разработке месторождений

Аннотация. При проведении подземных выработок образуются пустоты, которые необходимо засыпать для обеспечения опоры грунта. Засыпка широко используется в горнодобывающей промышленности подземным способом; однако на многих шахтах расчет прочности засыпки не проводится должным образом, а подробные лабораторные исследования отсутствуют. В данной статье исследуется повышение прочности засыпки с течением времени с помощью мониторинга акустической эмиссии (АЭ). Цилиндрические образцы с содержанием связующего 5%, 10%, 15% и 20% отверждали в течение 1, 3, 7, 14 и 28 дней, затем испытывали при неограниченном сжатии с контролем АЭ. Прочность на одноосное сжатие (UCS) увеличивается со временем отверждения для всех компонентов связующего, например, с 0,06081 МПа (1 день) до 0,3814 МПа (28 дней), что примерно в 6,5 раз выше. Темпы роста ПСК были одинаковыми (~45%) независимо от содержания цемента.

Ключевые слова: сейсмичность горных работ, распространение трещин, система микросейсмического мониторинга, подземные горные работы, акустическая эмиссия, испытание на одноосное сжатие.

Introduction

Study on backfill strength mobilization enhance the safety conditions of workplace, since instability of mine will lead to adverse consequences. Therefore, it is important to evaluate the backfill strength properly. Outcomes of this thesis work will give suggestions for the mix-design of backfill in underground mines, which can be realized and used by mine engineers. The improvement of mine productivity will be obtained, since the results provide optimal backfill strength, which will reduce possible breakdowns. Backfill cost can be reduced by using pertinent backfill mix-design and therefore mine profits will be improved. In addition, the results of this thesis will demonstrate the importance of curing, because most mines that use backfill do not pay full attention on curing. Consequently, this research topic is relevant for the underground mining industry [1].

Methodology

A clear laboratory research plan was established to study the backfill strength mobilization. Two different experimental tests were performed, which are uniaxial compression tests and acoustic emission tests. In order to perform the above-mentioned tests several operations were carried out, such as material preparation, sample production, equipment set-up and testing process [2].

The main objective of the uniaxial compression tests was to examine the strength and deformation behaviour of pre-pre-

pared cylindrical backfill specimens. In addition, for the strength mobilization, the effects of binder content and cure time on the strength of backfill were examined. Total 20 cylindrical backfill samples were generated with different binder content and cure time. Sand, Portland cement and water were used for preparing cylindrical backfill specimens. Four different mix-design were employed with various cement contents, which are 5%, 10%, 15% and 20%. Moreover, molded cylindrical backfill samples were cured with at different times, such as 1 day, 3 days, 7 days, 14 days and 28 days.

First of all, the necessary materials were prepared for making cylindrical backfill samples, as it was mentioned before, Portland cement CEM II / A-K (SH – I) 32.5H provided by Zhambyl Cement Plant, silty sand provided by local dealer and tap water were used.

Type II cement with mineral additives, such as slag and limestone, was chosen as binder for producing the cylindrical backfill specimens. According to GOST 10178-85, the mineralogical composition of Portland cement CEM II / A-K (SH – I) 32.5H used in this study is shown in Table 1. The required amount of cement for the production of cylindrical backfill specimens was poured into the box using a scoop.

Silty sand was dried before use in order to clean the sand from unnecessary additives, as well as provide the required moisture for sieve analysis. The sand was sprinkled on a polypropylene bag and dried naturally at room temperature conditions in two days.

Table 1

Mineralogical composition of Portland cement

Кесте 1

Портландцементтің минералогиялық құрамы

Таблица 1

Минералогический состав портландцемента

Mineral	Content, %
Tricalcium silicate or alite (C3S)	62
Dicalcium silicate or belite (C2S)	20
Tricalcium aluminate (C3A)	5
Tetracalcium aluminoferrite (C4AF)	13

Sieve analysis was applied to determine the grain size distribution of the silty sand, especially to remove the particles larger than 250 μm . Sieve analysis was carried out by vibratory sieve shaker AS 200 basic. The measuring range of the vibratory sieve shaker AS 200 basic is between 20 μm and 25 mm and the maximum mass of sieve stack is 4 kg. 1.305 kg of sand was sieved for 5 minutes in the vibratory sieve shaker.

The six sieve stacks were used to remove the oversize fragments leaving sand, silt, clay and gravel was removed by sieving.

The necessary amount of fine and medium sand for the production of cylindrical backfill samples was poured into the pan using a scoop. The calculation of particles passing can be seen in Table 2. In addition, the particle size distribution curve on the silty sand was produced and can be seen in Figure 1.

Table 2

Sieve analysis on silty sand

Кесте 2

Лайлы құмдағы електірді талдау

Таблица 2

Ситовой анализ илистого песка

Sieve		Soil Retained (g)	Accumulative Retaining (g)	% Mass Retaining	% Passing
Num-ber	Size (mm)				
#4	4	6	6	0,459911084	99,54008892
#10	2	12	18	1,379733252	98,62026675
#20	1	6	24	1,839644335	98,16035566
#40	0,5	7,6	31,6	2,422198375	97,57780163
#60	0,25	772	803,6	61,5974245	38,4025755
#200	0,125	402	1205,6	92,41146712	7,588532884
Pan		99	1304,6		

After material preparation, the next stage of the laboratory resarch is sample production. The preparation of the cylindrical backfill specimens were carried out by mixing sand, cement and tap water. A total 25 cylindrical backfill samples were required to conduct uniaxial compression test with different cement content and different curing time. The required amount of sand, cement and tap water was calculated by ASTM C-109C standard. According to ASTM C-109C, water to cement ratio is 0.485, while sand to cement ratio is 2.75.

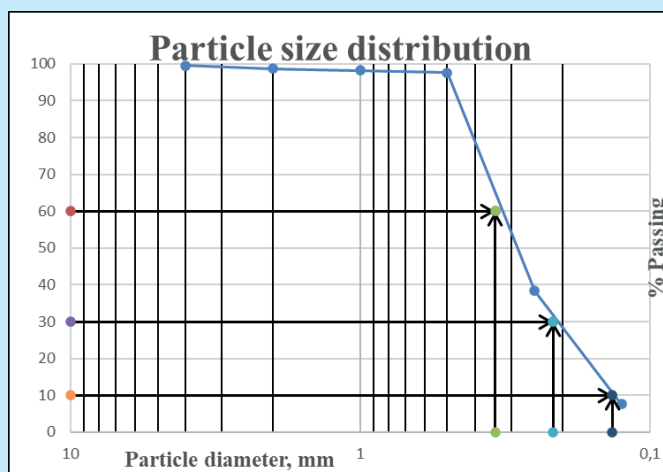


Figure 1. Particle size distribution of the silty sand.

Сурет 1. Лайлы құмның бөлшектер мөлшерінің таралуы.

Рис. 1. Гранулометрический состав илистого песка.

The materials were mixed by Benchtop Laboratory Mixer. The capacity of Benchtop Laboratory Mixer is 4.7L and it has 1/6 hp motor for mixing, which is enough for our study [3].

Preparation of slurry consisted of two stages, such as dry mixing and wet mixing. Dry mixing was performed by blending sand and cement in specified ratio for 3 minutes. After that, the specified amount of tap water was poured into the mixer to perform the wet mixing for 3 minutes. Before pouring the slurry into the cylindrical mold, they were cleaned and greased with lubricating oil on the internal parts to alleviate samples demolding. Ultimately, the slurry was poured into the cylindrical mold, which is demonstrated in Figure 2. Compaction was not applied during the preparation of backfill specimens to be close to real strength of in-situ backfill [4].



Figure 2. Casting of backfill UCS samples.

Сурет 2. UCS толтыру үлгілерін құю.

Рис. 2. Отливка образцов UCS обратной засыпки.

The cylindrical backfill samples were extruded after 8 hours and were put in the box for curing. The curing boxes were marked with cement content and day of pouring the samples. The curing of cylindrical backfill samples was held in normal conditions, such as at room temperature 200–250 °C and relative humidity 85±5%.

The dimensions of the backfill specimens were as follows: diameter 37 mm and height 76 mm. The geometry of backfill samples is appropriate to conduct the uniaxial compression test

referred to ISRM standard. The standard requires height-to-diameter ratio equals between 2 and 2.5. All backfill samples were polished and ground by the GCTS RSG-200 Specimen Grinder. Sample polishing was performed to obtain smooth faces in order to diminish planetary error, which should be less 1 mm in accordance with ISRM standard. After sample grinding and polishing, the smoothness of surface was checked by absolute digimatic indicator. Finally, all backfill samples are ready to be examined by uniaxial compression test and acoustic emission monitoring [5].

For determination of uniaxial compressive strength of backfill specimens, GCTS PLT-2W Point Load Testing Device was utilized. The PLT test frame is modified to perform UCS test by replacing the point Load Pointed platens with the regular UCS test platens in accordance with the ISRM suggested methods for UCS tests. The maximum load capacity of this equipment is 100 kN. The data is collected automatically and is revealed the average strength by software connected to this equipment. This device can gauge specimen size automatically, which is convenient for experiments.

For this study, platens with diameter 43 mm and thickness 18 mm were used. The platens were fixed the of PLT equipment. The specimen was placed between the top and bottom platens. After all calibration processes, the load was applied by the hydraulic pump until the sample failed. The data was generated by embedded software to iPod and the results sent by e-mail to the tester.

SAEU3H 8-channel Integrated Acoustic Emission System was used for backfill strength monitoring study. SAEU3H 8-channel Integrated Acoustic Emission System is an acoustic emission monitoring system that is developed to evaluate and treat acoustic emission data in laboratory conditions. It is able to give measurement of acoustic emission parameters, such as threshold arrival time, ring counts, amplitude, rise counts, rise time and relative energy. Operating bandwidth of this AE system is between 30 Hz to 200 kHz and the maximum signal range is 100 dB.

Therefore, the signals coming to the sensor with or near magnitude to the resonance frequency would have a higher AE amplitude than the signals coming with large magnitude difference of the resonant frequency. The broad band of this sensor is 60 kHz-400 kHz, which permits to embrace most pertinent frequencies, which makes it the prevalent sensor. Electromagnetic isolation of shell and object under experiment happens due to ceramic material of the contact surface. The interference efficiently is mitigated by rustproof steel shell with integral protective structure. The 150 kHz resonance frequency was chosen in order to make a reduction of low frequency background obstacles. However, the high frequencies induce high levels of attenuation [6].

AE sensors transmit the voltage signals which are very weak. Inevitable reduction of strength takes place due to low voltage signals, as transferred through long distance. Therefore, the use of a preamplifier was necessary in order to make an amplification of weak waves from the sensor by 40 dB, then preamplifier will transmit signals to acquisition equipment through cable. For this research preamplifier model SAEPA2 was chosen, which is embedded with filter. Band pass filter was applied not to comprise too low and high frequency sig-

nals in the output signal. Frequency filter range was established to 20–120 kHz. Several wave modes could be covered within this frequency bandwidth. Simplification of the eventual output and alleviation of the recognition of wave modes are achieved by this filtering.

Backfill strength monitoring with time was performed by acoustic emission system and Cyber-plus compression equipment, since the calibration of GCTS PLT-2W Point Load Testing Device was broken. Contingency plan was applied [7], therefore Cyber-plus evolution compression equipment was borrowed from Civil Engineering school in order to obtain data properly.

Firstly, platens with diameter 120 mm were established in pressure cell to meet the height of sample. Since all backfill samples were grinded and polished, next stage was mounting sensors on the backfill sample surface. For this study, SR150M AE sensors were used. They were mounted by hot-glue gun. Backfill sample with mounted sensors was placed in a pressure cell.

After backfill sample placement in a pressure cell, acoustic emission monitoring system was established. Sensors were connected to SAEPA2 preamplifiers, while preamplifiers were connected to acoustic emission system via coaxial cables. Finally, the acoustic emission system was attached to data acquisition equipment via USB port.

After equipment and backfill sample set-up, both equipment were calibrated and sample settings were established in both equipment. The load was applied at 0.05 kN/s rate automatically by the compression equipment until the sample failed, at the same time acoustic emission system started to monitor AE parameters. Starting load of 0.05 kN was established and load was stopped manually. The data were generated by SAE AE software and Cyber-plus evolution compression equipment.

Results

Total 20 cylindrical backfill samples were examined under uniaxial compression in this laboratory tests. The cylindrical backfill samples were designated by the cement content and curing time for convenient data processing. The study shows that the uniaxial compressive strength increases with increasing curing time. For example, uniaxial compressive strength of backfill sample cured 1 day is 0.06081 MPa, while uniaxial compressive strength of backfill sample cured 28 day is 0.3814 MPa, which is almost 6.5 times higher.

Overall results reveal low UCS strength for backfill samples in comparison with other studies. There are several reasons for low UCS strength of backfill samples, such as lack of compaction during sample preparation, lack of tailing materials and curing method.

According to the laboratory experiment results, the relation curves between the uniaxial compressive strength and curing time were generated for cylindrical backfill samples with different cement content. It can be seen from Figure 3, cylindrical backfill samples with 15% cement content show larger uniaxial compressive strength than backfill samples with 15% less cement content. The uniaxial compressive strength growth rate was almost the same for all backfill samples despite cement content. The uniaxial compressive strength growth rate for backfill samples were nearly 45%.

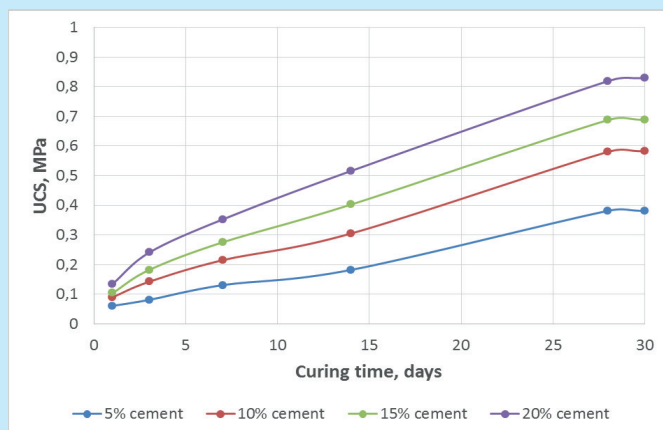


Figure 3. Backfill strength and curing time relationship.

Сурет 3. Толтырудың беріктігі мен емделу уақытының арақатынасы.

Рис. 3. Соотношение прочности засыпки и времени отверждения.

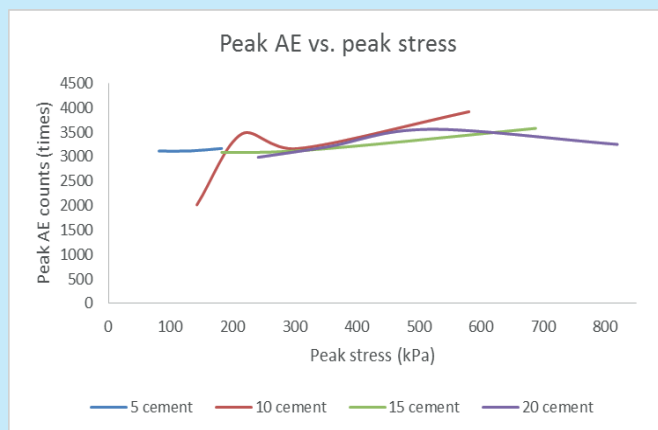


Figure 4. Peak AE counts vs. peak stress.

Сурет 4. АЕ шыңы стресстің шыңына қарсы есептеледі.

Рис. 4. Количество пиковых АЭ в зависимости от пикового напряжения.

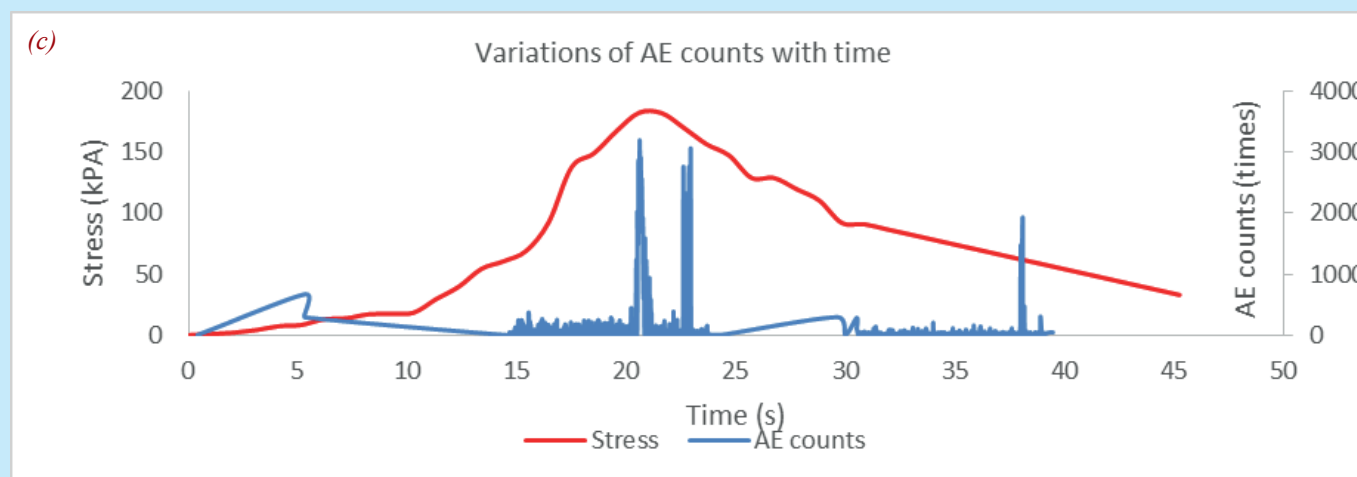
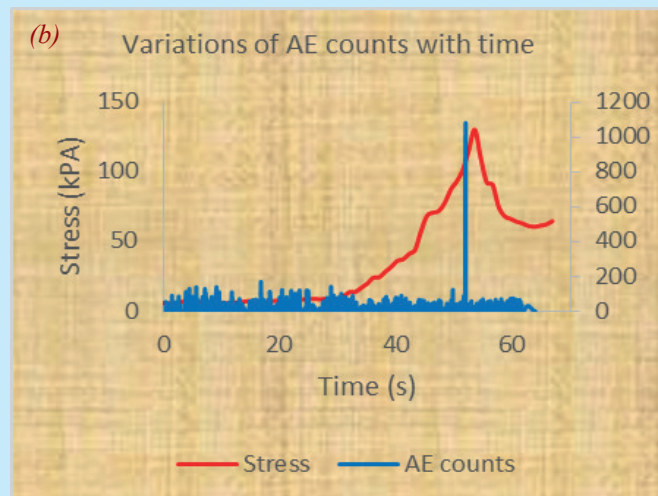
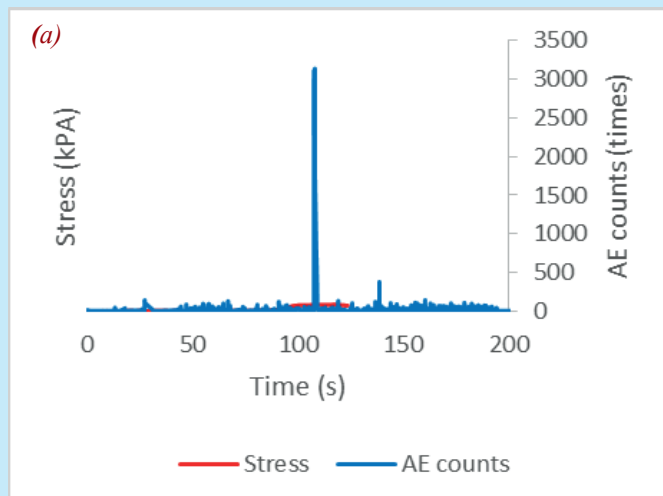


Figure 5. Variations of AE counts with time of 5% cemented backfill samples: (a) – 3 day curing; (b) – 7 days curing; (c) – 14 days curing.

Сурет 5. 5% цементтелген толтыру үлгілерінің уақытымен АЕ көрсеткіштерінің өзгеруі: (а) – 3 күндік өңдеу; (б) – 7 күндік өңдеу; (с) – 14 күндік өңдеу.

Рис. 5. Изменение количества АЭ в зависимости от времени отверждения образцов с 5%-ой цементированной засыпкой: (а) – отверждение в течение 3 дней; (б) – отверждение в течение 7 дней; (с) – отверждение в течение 14 дней.

Discussion of the results

Total 15 cylindrical backfill samples with different cement content were tested under acoustic emission monitoring with the uniaxial compression in this laboratory tests. 1 day curing backfill samples were not examined since the sensors could not be mounted due to the wet surface of backfill samples. In addition, 5% backfill sample was not examined because curing time was missed according to unseen circumstances.

The maximum magnitude of AE counts is a peak count, which was registered during uniaxial compression test. The average peak counts were calculated for 5%, 10%, 15% and 20% backfill samples were calculated, and they are 2454, 3141, 3147 and 3249 respectively. Also, peak AE counts versus peak stress graph was produced, which can be seen in Figure 4.

According to [8], the acoustic signals are followed by microfractures formation and distribution, therefore indirect reflection of the fracture condition can be seen by AE counts. The small value of the AE counts show, the fewer number of brittle fractures. Therefore, backfill samples with 5% and 10% cement content have less crack number than backfill samples with 15% and 20% cement content. The most crack number was registered for backfill samples 20% cement content, since the average value of AE peak counts is 3249.

The variations of AE counts with time for various cemented backfill samples with different curing time are revealed in Figures 5–6. It can be seen from the Figures 5–6 that the peak AE count coincides with the peak stress point almost for all backfill samples.

Overall, acoustic emission monitoring test results show reliable accurate values. However, different systematic

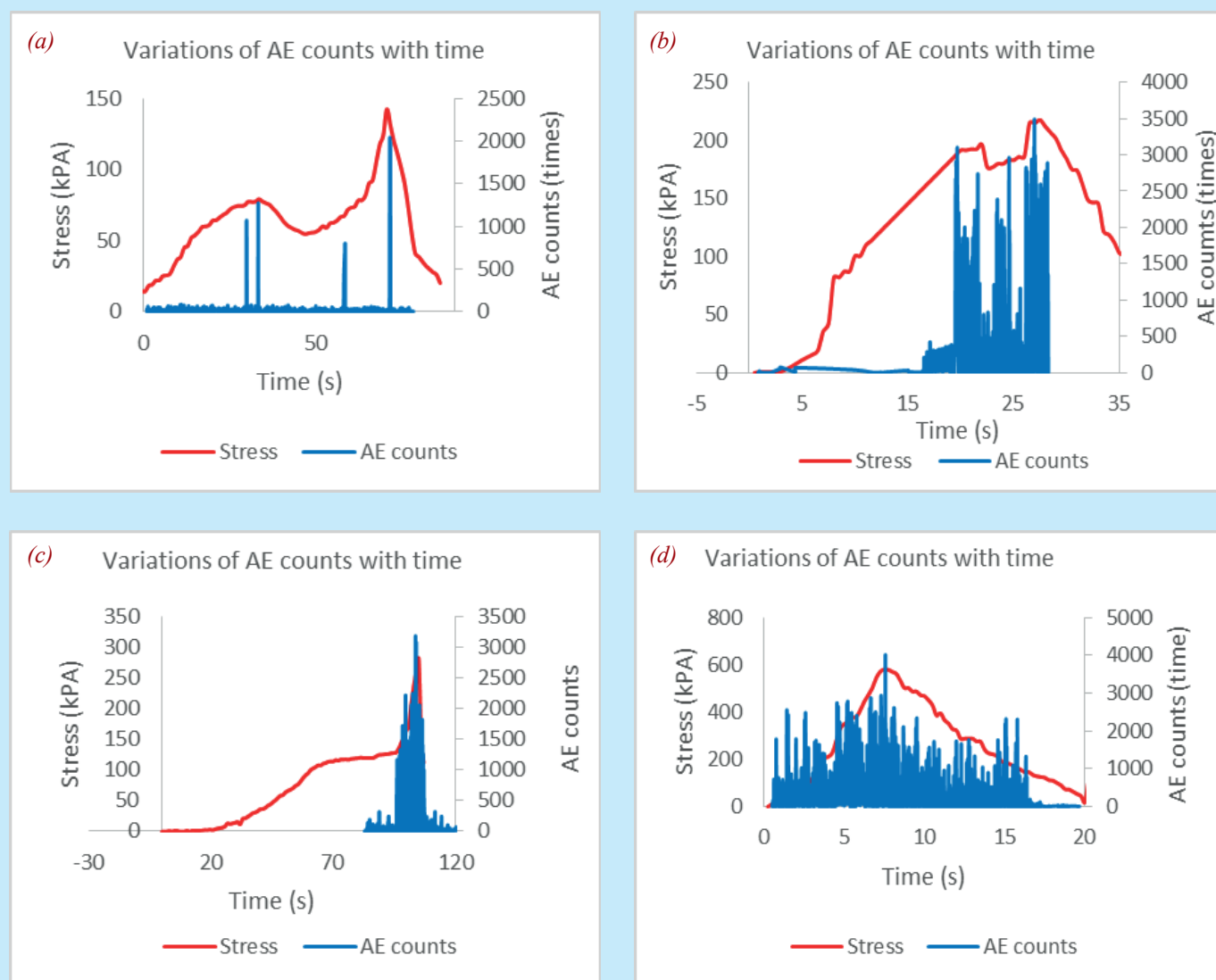


Figure 6. Variations of AE counts with time of 10% cemented backfill samples: (a) – 3 day curing; (b) – 7 days curing; (c) – 14 days curing; (d) – 28 days curing.

Сурет 6. 10% цементтелген қайта толтыру үлгілерінің уақытымен АЭ көрсеткіштерінің өзгеруі: (а) – 3 күндік өңдеу; (б) – 7 күндік өңдеу; (с) – 14 күндік өңдеу; (д) – 28 күндік өңдеу.

Рис. 6. Изменение количества АЭ в зависимости от времени отверждения образцов с 10%-ой цементированной засыпкой: (а) – отверждение в течение 3 дней; (б) – отверждение в течение 7 дней; (с) – отверждение в течение 14 дней; (д) – отверждение в течение 28 дней.

and random errors occurred while testing backfill samples. Human errors probably occurred during sample preparation. It should be noted the imperfection of acoustic emission equipment [9]. In addition, AE test results were affected by environment noise. Different imperfections can be seen of obtained AE test results from the graphs [10]. For example, the sensor was not worked properly during testing of 5% backfill sample between 0 and 15 s, which can be seen from Figure 5c. During the testing 10% backfill sample, acoustic emission monitoring test and uniaxial compression strength test were not started simultaneously, the UCS test was started earlier, which is shown in Figure 6 (c).

Conclusion

The laboratory study showed that the uniaxial compressive strength of cemented backfill samples increases with curing

time, reaching values more than six times higher after 28 days compared to 1 day, though overall UCS remained lower than reported in other studies due to limitations in compaction, curing, and material composition. Acoustic emission monitoring confirmed that peak AE activity coincides with peak stress, reflecting fracture development, with higher cement contents (15–20%) exhibiting greater AE counts and thus more brittle cracking than lower contents. Despite some measurement errors and equipment imperfections, the results highlight the strong influence of curing time and cement content on backfill strength and demonstrate the potential of AE monitoring as a reliable method for assessing fracture processes in cemented backfill.

Acknowledgments

The authors acknowledge Nazarbayev University for support through the Collaborative Research Program Grant # OPCR2020014.

REFERENCES

1. Bawden W.F. (June 26, 2011). *In-situ Monitoring of Cemented Paste Backfill*. In 45th US Rock Mechanics // Geomechanics Symposium. American Rock Mechanics Association (in English)
2. Barret J.R. and et al. *Determination of fill stability, mining with backfill* // *Proceedings of 12th Canadian rock mechanics symposium, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Quebec, Special, 1978. V. 1. 85–91 pp.* (in English)
3. *Experimental Study on Acoustic Emission of Confined Compression of Crushed Gangue under Different Loading Rates* / Li J. [et al.] // *Disposal of Gangue Solid Waste. Sustainability. 2020. No. 12 (9). 3911 p.* (in English)
4. *Project risk management guidelines* / Coope D.F. [et al.] // *Managing risk in large projects and complex procurements. John Wiley & sons, Inc. 2005. 2–4 pp.* (in English)
5. *An improved method to assess the required strength of cemented backfill in underground stopes with an open face* / Li L. [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technolog. 2014. No. 24 (4). 549–558 pp.* (in English)
6. *Required strength estimation of a cemented backfill with the front wall exposed and back wall pressured* / Liu G. [et al.] // *International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2018. No. 9 (1). 1–20 pp.* (in English)
7. Ma Q. (July 09, 2015). *Experimental Study on Acoustic Emission Characteristics of Cemented Waste Rock Backfills with Two Different Structures during Creep Process* // *In MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2015. V. 22. 04014 pp.* (in English)
8. *Study of acoustic emission and mechanical characteristics of coal samples under different loading rates* / Li H. [et al.] // *Shock and Vibration. 2015. 1–11 pp.* (in English)
9. Hekal G.M. et al. (2018). *Collapse analysis of a reinforced concrete frame due to middle column loss by explosion*. *Civil Environmental Engineering*. <https://www.hilarispublisher.com/open-access/collapse-analysis-of-a-reinforced-concrete-frame-due-to-middle-columnloss-by-explosion-2165-784X-1000311.pdf> (in English)
10. Pezzuto A. (February 2015). *A field study of mineral scale buildup on lined and traditional PE water pipes* // *Proceedings of the 2017 SME annual conference and expo, Denver, 2017. 17–139 pp.* (in English)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бойден В.Ф. (26 Маусым 2011 ж.). Цементтелген Пастаның толтырылуын орнында Бақылау. Ақш-тың 45-ші Тау жыныстарының-механикасында // Геомеханика Симпозиумы. Американдық тау жыныстарының механика қауымдастығы (ағылшын тілінде)
2. Баррет Дж. Р. және т. б. Толтыру тұрақтылығын анықтау, толтыру арқылы тау-кен жұмыстарын жүргізу // 12-ші Канадалық тау-кен механикасы симпозиумының материалдары, Канадалық тау-кен металлургия институты, Квебек, арнайы шығарылым 1978. Т. 19. Б. 85–91 (ағылшын тілінде)
3. Әр түрлі жүктеме жылдамдығында ұсақталған бос жыныстың шектеулі қысылуындағы акустикалық эмиссияны эксперименттік зерттеу / Дж. Ли [және т. б.] // Бос қатты қалдықтарды жою. Тұрақты даму. 2020. № 12 (9). Б. 3911 (ағылшын тілінде)

4. Жобалық тәуекелдерді басқару бойынша нұсқаулық / Куп Д.Ф [және т. б.] // Ірі жобалар мен күрделі сатып алулардағы тәуекелдерді басқару. John wiley & sons, Inc. 2005. Б. 2–4 (ағылшын тілінде)
5. Ашық беті бар жерасты стоптарында цементтелген толтырғыштың қажетті беріктігін бағалаудың жетілдірілген әдісі / Ли Л. [және т. б.] // Халықаралық тау-кен ғылымы және технологиясы журналы. 2014. № 24 (4). Б. 549–558 (ағылшын тілінде)
6. Алдыңғы қабырғасы ашық және артқы қабырғасы қысыммен цементтелген толтырғыштың беріктігін қажетті бағалау / Лю Г. [және т.б.] // Халықаралық тау-кен және минералды инженерия журналы. 2018. № 9 (1). Б. 1–20 (ағылшын тілінде)
7. Ма Q. (Шілде 09, 2015). Сығылу процесінде екі түрлі құрылымы бар цементтелген қалдық жыныстардың толтырғыштарының акустикалық эмиссиялық сипаттамаларын эксперименттік зерттеу // МАТЕС Конференцияларының веб-торабында. EDP ғылымдары. 2015. Т. 22. Б. 04014 (ағылшын тілінде)
8. Әр түрлі жүктеме жылдамдығындағы көмір үлгілерінің акустикалық эмиссиясын және механикалық сипаттамаларын зерттеу / Ли Х. [және т.б.] // Соққы және діріл. 2015. Б. 1–11 (ағылшын тілінде)
9. Хекал Г.М. және т. б. (2018 ж.). Жарылыс кезінде ортаңғы бағана жоғалуына байланысты темірбетон қаңқасының құлау талдауы. Азаматтық экологиялық инженерия. <https://www.hilarispublisher.com/open-access/collapse-analysis-of-a-reinforced-concrete-frame-due-to-middle-columnloss-by-explosion-2165-784X-1000311.pdf> (ағылшын тілінде)
10. Пеццито А. (ақпан 2015). Футерленген және дәстүрлі полиэтиленді су құбырларында минералды шөгінділердің түзілуін далалық зерттеу // 2017 жыл сайынғы шағын және орта бизнес конференциясы мен көрмесінің материалдары, Денвер, 2017. Б. 17–139 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бауден У.Ф. (26 июня 2011 г.). Мониторинг засыпки цементированной массы на месте. На 45-м симпозиуме по механике горных пород в США // Симпозиум по геомеханике, Американская ассоциация механиков горных пород (на английском языке)
2. Баррет Дж. Р. и др. Определение устойчивости насыпи при добыче полезных ископаемых с обратной засыпкой // Материалы 12-го Канадского симпозиума по механике горных пород, Канадский институт горного дела и металлургии, Квебек, спец. выпуск, 1978. Т. 19. С. 85–91 (на английском языке)
3. Экспериментальное исследование акустической эмиссии при ограниченном сжатии измельченной пустой породы при различных скоростях нагружения / Ли Дж. [и др.] // Утилизация твердых отходов пустой породы. Устойчивое развитие. 2020. № 12 (9). С. 3911 (на английском языке)
4. Руководство по управлению проектными рисками / Куп Д.Ф. [и др.] // Управление рисками в крупных проектах и сложных закупках. John wiley & sons, Inc. 2005. С. 2–4 (на английском языке)
5. Усовершенствованный метод оценки требуемой прочности цементированной засыпки в подземных выработках с открытым забоем / Ли Л. [и др.] // Международный журнал горной науки и техники. 2014. № 24 (4). С. 549–558 (на английском языке)
6. Оценка требуемой прочности цементированной засыпки с открытой передней стенкой и давлением на заднюю стенку / Лю Г. [и др.] // Международный журнал горного дела и минеральной инженерии, 2018. № 9 (1). С. 1–20 (на английском языке)
7. Ма В. (9 июля 2015 г.). Экспериментальное исследование характеристик акустической эмиссии цементированных засыпок из пустой породы с двумя различными структурами в процессе ползучести // Веб-конференция МАТЕС. EDP Sciences. 2015. Т. 22. С. 04014 (на английском языке)
8. Исследование акустической эмиссии и механических характеристик образцов угля при различных скоростях нагружения / Х. Ли [и др.] // Удары и вибрация. 2015. С. 1–11 (на английском языке)
9. Хекал Г.М. и др. (2018 г.). Анализ обрушения железобетонного каркаса из-за потери средней колонны взрывом. Гражданская экологическая техника. <https://www.hilarispublisher.com/open-access/collapse-analysis-of-a-reinforced-concrete-frame-due-to-middle-columnloss-by-explosion-2165-784X-1000311.pdf> (на английском языке)
10. Пеццито А. (февраль 2015 г.). Полевое исследование образования минеральных отложений на футерованных и традиционных полиэтиленовых водопроводных трубах // Труды ежегодной конференции и выставки малого и среднего бизнеса, Денвер, 2017. С. 17–139 (на английском языке)

Information about the authors:

Aldubai T., Researcher of the Mining Department, Autonomous Educational Organization «Nazarbayev University» (Astana, Kazakhstan), temirlan.alidubay@alumni.nu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1728-7920>

Khussan B., Ph.D, acting Assistant Professor of the Department «Development of mineral deposits», Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), h.bolathan@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-0996-348X>

Rabatuly M., Ph.D, acting Assistant Professor of the Department «Development of mineral deposits», Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), mukhammedrakhym@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7558-128X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Әлдубай Т., «Тау-кен ісі» кафедрасының ғылыми қызметкері, «Назарбаев Университеті» дербес білім беру ұйымы (Астана қ., Қазақстан)

Хусан Б., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Рабатұлы М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Әлдубай Т., научный сотрудник кафедры «Горное дело», Автономная организация образования «Назарбаев Университет» (г. Астана, Казахстан)

Хусан Б., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан).

Рабатұлы М., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ТРЕТИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

SEYMARTEC
TOIR

ЧЕЛЯБИНСК
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»

16–18
СЕНТЯБРЯ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТОИР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК,
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА И МАШИНОСТРОЕНИЯ



seymartec.ru



+7 499 638-23-29



info@seymartec.ru

Код МРНТИ 38.35.91:52.13.03

А. Жумагазиев¹, Р. Кенжебай², *С. Курбаниязов³, Т. Шоймуротов⁴¹Атырауский государственный университет им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан),²Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан),³Международный казахско-турецкий университет им. А. Ясави (г. Туркестан, Казахстан),⁴Министерство горнодобывающей промышленности и геологии (г. Ташкент, Узбекистан)

СОСТОЯНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛАУКОНИТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ УЗБЕКИСТАНА

Аннотация. Статья посвящена оценке состояния минерально-сырьевой базы глауконита в Узбекистане и анализу его перспектив промышленного использования. Основные ресурсы глауконитосодержащих песчаников сосредоточены в месторождениях Чанги, Кофрун, Крантау и Кызылджар, с прогнозными ресурсами до 128,3 млн тонн и разведанными запасами категорий C1+C2 и P1 более 23 млн тонн. Минерал характеризуется стабильным химическим составом, высоким содержанием оксида калия (до 5,3%), выраженными ионообменными свойствами, а также сорбционной способностью (до 6,11 мг/100 г по нафтеновым кислотам), что делает его перспективным сырьем для различных отраслей – от экотехнологий до химической и строительной промышленности. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие возможность применения глауконита в качестве природного сорбента, мелиоранта и сырья для получения цеолитоподобных материалов, а также для очистки сточных вод от тяжелых металлов.

Ключевые слова: глауконит, песчаники, минеральное сырье, калийные удобрения, сорбционные свойства, агрохимия, Узбекистан.

Ўзбекстандағы глаукониттің шикізаттық қорының жағдайы және оны өнеркәсіпте пайдалану мүмкіндіктері

Аннотация. Мақалада Өзбекстандағы глаукониттің минералдық-шикізат базасының жай-күйі және оны өнеркәсіптік мақсатта пайдалану болашағы қарастырылады. Глауконитке бай құмтастардың негізгі қорлары Чанги, Кофрун, Крантау және Кызылжар кен орындарында шоғырланған, олардың болжамдық ресурстары 128,3 млн тоннаға дейін, ал барланған C1+C2 және P1 санаттары бойынша қоры 23 млн тоннадан асады. Минерал тұрақты химиялық құрамымен, калий оксидінің жоғары мөлшерімен (5,3%-ға дейін), айқын ион алмасу және сорбциялық қасиеттерімен (нафтен қышқылдары бойынша 6,11 мг/100 г дейін) ерекшеленеді. Бұл қасиеттері глауконитті экологиялық технологиялардан бастап химия және құрылыс өнеркәсібіне дейін әртүрлі салаларда пайдалануға мүмкіндік береді. Зертханалық сынақтар глауконитті табиғи сорбент, мелиорант және цеолит тәрізді материалдар өндіруге арналған шикізат ретінде, сондай-ақ ағын суларды ауыр металдардан тазартуға қолдану мүмкіндігін растады.

Түйінді сөздер: глауконит, құмтастар, минералдық шикізат, калий тыңайтқыштары, сорбциялық қасиеттер, агрохимия, Өзбекстан.

The state of the raw material base and prospects for the use of glauconite in industry of Uzbekistan

Abstract. The article presents an assessment of the mineral resource base of glauconite in Uzbekistan and analyzes its prospects for industrial application. The main resources of glauconite-bearing sandstones are concentrated in the Changi, Kofrun, Krantau, and Kyzyljar deposits, with estimated resources reaching up to 128.3 million tons and proven reserves (categories C1+C2 and P1) exceeding 23 million tons. The mineral is characterized by a stable chemical composition, a high potassium oxide content (up to 5.3%), pronounced ion-exchange capacity, and sorption ability (up to 6.11 mg/100 g in terms of naphthenic acids), making it a promising raw material for various industries – from environmental technologies to the chemical and construction sectors. Experimental results confirm its applicability as a natural sorbent, soil conditioner, and precursor for zeolite-like materials, as well as its efficiency in the removal of heavy metals from wastewater.

Key words: glauconite, sandstones, mineral raw materials, potassium fertilizers, sorption properties, agrochemistry, Uzbekistan.

Введение

Минерально-сырьевая база глауконитового песка сосредоточена в основном на восточной, юго-западной провинциях Узбекистана в меловых и палеогеновых отложениях. Выявленные ресурсы в достаточном количестве могут обеспечить многие отрасли экономики на долгие годы. Глауконит – это экзогенного происхождения минерал состава водного алюмосиликата железа и калия, представляющий собой ценное комплексное сырье широкого использования в промышленности.

Окраска глауконитов – зеленая различных оттенков. Встречается обычно в виде микроагрегатных зерен. Максимальным распространением пользуется глауконит, сформировавшийся химически осадочным путем в водных бассейнах, благодаря одновременной коагуляции гидроксидов железа, кремнезема и глинозема. Фациально области глауконитообразования чаще всего тяготеют к прибрежным, относительно мелководным участкам бассейна. Поэтому глауконит, как правило, ассоциирует с кварцевыми песками, фосфоритами, карбонатно-мергелистыми и кремнистыми породами, реже – с туфогенно-кремнистыми формациями.

Ценность данной работы представляет собой комплексное исследование состояния сырьевой базы глауконитовых песчаников Узбекистана с акцентом на их промышленное и агротехническое применение. Пред-

ставлены данные по геологическому положению, минеральному составу, физико-химическим свойствам и запасам глауконитосодержащих пород. Учитывая усиливающуюся потребность в альтернативных природных ресурсах и экологически безопасных удобрениях, результаты исследования имеют высокую практическую значимость для развития ресурсосберегающих технологий, повышения плодородия почв, а также оптимизации минерально-сырьевой политики страны.

Научная новизна работы заключается в уточнении геолого-промышленной характеристики глауконитовых отложений Узбекистана на основе систематизации и интерпретации новых данных о составе и свойствах сырья. Впервые обоснована возможность широкомасштабного применения глауконита не только в качестве медленно действующего калийного удобрения, но и в качестве сорбента, кондиционера почв и компонента строительных материалов. Предложена классификация типов глауконита по степени зрелости и промышленной пригодности, что способствует более точной дифференциации месторождений для различных направлений использования.

Благодаря окраске, а также способности к реакциям катионного обмена и высокому содержанию калия, глаукониты применяются в различных отраслях промышленности как сырье для производства красок, смягчителей вод и калийных удобрений.

Как смягчители жестких вод, глаукониты используются в пивоваренной, сахарной, текстильной отраслях промышленности, на тепловых электростанциях. А как адсорбенты, они применяются для дезактивации прудовых и сточных вод, очистки их катионных красителей и некоторых радиоактивных изотопов. Особое значение глауконит приобретает при очистке радиоактивных стоков, обладая высокой сорбционной емкостью к радиоактивным солям. Глауконитовый фильтр после обработки легко спекается в стекловатую массу, в которой радиоактивные соли переходят в нерастворимое состояние, что облегчает захоронение отработанных фильтров. Добавка глауконита в цемент как наполнителя способствует получению бетона, препятствующего проникновению как жесткого, так и мягкого радиоактивного излучения.

В качестве калийных удобрений глаукониты эффективны для повышения урожайности таких культур, как пшеница, кукуруза, виноград, хлопчатник, картофель и др. Исключительный интерес представляет непосредственное использование глауконитовых пород и концентратов в промышленности. Несмотря на определенное повышение сырья ряда продуктов, выяснилось, что большая часть калия из глауконита не усваивается почвой. Кроме того, положительное влияние на сырье отмечается при внесении значительных его доз (1 т и более на гектар). Подвижность, а следовательно, и доступность калия резко возрастает после прокаливания глауконита до температуры 600–620 °С. В зависимости от дозы внесения глауконит оказывает положительное влияние на водно-химические и агрохимические факторы плодородия орошаемых почв и обеспечивает повышение продуктивности сельхозкультур [1, 2].

В глауконитсодержащих породах присутствует целый ряд элементов-примесей, но их содержание обычно находится на кларковом уровне и только иногда повышается, достигая 2–3-х кратных значений. Характерной физико-химической особенностью глауконита, как было сказано выше, является его высокая емкость поглощения и хорошие ионообменные свойства. Все это позволяет рассматривать глауконитовые породы как комплексное удобрение – источник калия, магния, отчасти фосфора, бора, меди, цинка, кобальта, молибдена и др. микроэлементов, полезных для нужд, а также как мелиорант, улучшающий структуру почвы и увеличивающий емкость ее поглощающего комплекса.

В 1963–72 гг. в лабораторных и производственных условиях проведен комплекс детальных технологических исследований по применению глауконитов Чанги в промышленности. Глауконитовые песчаники этого месторождения отличаются высоким содержанием глауконита, что позволяет их использовать без предварительного обогащения. Природные физико-химические свойства обуславливают высокую эффективность в качестве природного сорбента. Особенно важны такие характеристики, как катионообменная емкость (до 24–36 мэкв/100 г), высокая пористость (до 40–60%) и специфическая поверхность до 25–60 м²/г. Эти параметры позволяют глаукониту активно сорбировать ионы тяжелых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}), а также органические загрязнители, включая нефтепродукты и

фенольные соединения. Исследования показали, что глауконит может снижать концентрации тяжелых металлов в сточных водах до 80–98% при использовании в виде фильтрующей загрузки или тонкодисперсной добавки. Также установлено, что глауконит эффективен в условиях очистки нефтезагрязненных почв и водоемов: при дозировании 5–10% от массы загрязненного субстрата достигается значительное снижение содержания углеводов и восстановление микробиологических процессов.

Дополнительное преимущество глауконита заключается в его химической стойкости и доступности: минерал не требует сложной обработки, а сырьевые ресурсы в Узбекистане (месторождения Чанги, Кофрун и др.) позволяют организовать масштабное производство экологически безопасных сорбентов. Сравнительный анализ с бентонитом, цеолитом и другими минеральными сорбентами показывает, что глауконит может использоваться в качестве экономически оправданной альтернативы для систем промышленной и коммунальной очистки, в том числе в составе барьерных геохимических экранов. Таким образом, глауконит является перспективным природным материалом, который может быть эффективно использован в экологических технологиях для очистки сточных вод, рекультивации загрязненных территорий и предотвращения миграции токсикантов в окружающую среду. Были проведены также опыты по водосмягчению и очистке сточных вод промышленных предприятий от вредных примесей солей металлов и очистке нефтепродуктов. Было установлено, что при очистке сточных вод Ташкентского кабельного завода содержание солей меди снижалось от 114,5 до 4,6 мг/л, свинца – от 375 до 2 мг/л, цинка – от 380 до 40 мг/л, алюминия – от 190 до 20 мг/л [3, 4].

При очистке нефтепродуктов глауконит показал высокую сорбционную емкость к нафтеновым кислотам – до 6,11 на 100 г глауконита и пиридину – до 5,79 на 100 г. Такая очистка намного выше показателей существующих природных сорбентов, употребляемых нефтеперерабатываемой промышленностью.

Несмотря на указанные положительные качества глауконита, особенно в производстве, практическое использование его до последнего времени незначительное. Подтверждением тому являются промышленные, но все еще не отрабатываемые в нашей республике месторождения Чанги и Кофрун. Освоение и практическое применение глауконита этих объектов позволит снизить затраты минеральных удобрений и станет новым дешевым местным источником пополнения запасов почвы макро- и микроэлементами питания и повышения урожайности. Бедные, некондиционные залежи можно использовать также для рекультивации нарушенных земель, заменяя естественный почвенный слой с целью восстановления плодородия почвы в кратчайшие сроки.

Глауконитовые породы в целом отличаются широким распространением. Мощность глауконитсодержащих пород (кварц-глауконитовых песков, песчано-глинистых осадков) достигает десяти и более метров, протяженностью – десятки, реже – сотни километров, с максимальным содержанием глауконитовых зерен в породе 60–70%. Высокой продуктивностью отличаются отложения сред-

него и верхнего рифея, нижних – кембрия и ордовика, верхней юры, нижнего и верхнего мела, палеогена и эоцена. Кварц-глауконитовые пески и песчаники Узбекистана приурочены, как правило, к сузакским слоям палеогена и альб-сеноманским слоям нижнего и верхнего мела [5].

Таким образом, исходя из литологического состава глауконитоносной толщи, структурно-текстурного строения, характера взаимоотношений подстилающих и перекрывающих пород, присутствия четко выраженной слоистости отложений фосфоритов, органических остатков в виде флоры и фауны, и наконец, глауконита, мы делаем вывод о том, что все литолого-петрографические разности пород, слагающие разрезы изучаемых объектов, формировались в мелководном пресном водоеме в условиях сухого и теплого климата. Водные фациальные условия осадконакопления подтверждаются микроагрегатным строением и колломорфной формой зерен глауконита. Прямая, слабоволнистая слоистость, мелкозернистость и неравномерностернистость песчаных терригенных составляющих свидетельствуют о слабой гидродинамике придонных течений и вод, поступающих с дневной поверхности в водный бассейн. Большая протяженность глауконитосодержащих пластов от 3 до 30 км без существенного изменения гранулометрии обломочных составляющих, их мощности указывают на аккумуляцию осадков в прибрежной части бассейна. Анализ вышеперечисленных факторов, а именно, стратиграфического, фациально-литологического, гидрохимического и палеогеографического дает нам основание судить о закономерностях размещения перспективных глауконитосодержащих площадей. Их размещение будет четко контролироваться расположением прибрежно-морских зон на палеогеографических картах сузакских слоев нижнего эоцена (P_2^2) в районе Восточного и альб-сеноманских слоев нижнего и верхнего мела (K_1-K_2) – Южного Узбекистана [6].

Разработанные требования промышленности к глауконитовому сырью в настоящее время отсутствуют. Породы с относительно высокими содержаниями глауконита (более 30%) могут использоваться в естественном виде, а породы с меньшим содержанием глауконита требуют обогащения.

Материалы и методы

Исследования проведены на основе детального изучения глауконитосодержащих песчаников месторождений Аксу и Мабика, расположенных в Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. Оба объекта приурочены к отложениям нижнего и верхнего мела, представлены мелко- и среднезернистыми полимиктовыми песчаниками зеленовато-серого и темно-зеленого цвета с зерновидными включениями глауконита.

Геолого-структурные параметры. Протяженность продуктивной толщи на месторождении Аксу составляет 8,2 км при мощности 10–13 м, на Мабике – 2,9 км при мощности 21,5–33 м. Геологоразведочные работы включали бурение скважин, геофизическое профилирование и отбор групповых и технологических проб.

Минерально-химические исследования. Для определения химического состава применялись методы рентгенофлуоресцентного (XRF) анализа.

Классификация по карбонатности. По содержанию карбонатов песчаники относятся к слабоизвестковым породам. Установлено варьирование карбонатности от 2,5 до 18,5%, со средним значением 7,1%.

Гранулометрический состав. Изучение гранулометрического состава выполнено по 61 групповой и 3 технологическим пробам. Разделение фракций проводилось ситовым методом и методом седиментационного анализа.

Запасы и категории. По подсчетам, суммарные запасы песчаников со средним содержанием глауконита 17% на обоих месторождениях по категории С2 составляют 34,7 млн м³. В том числе по месторождению Аксу: С2 – 7,4 млн т, Р1 – 3,3 млн т; по Мабика: С2 – 21,9 млн т, Р1 – 5,5 млн т.

Технологическая оценка. Проведены лабораторные испытания по механическому дроблению до крупности < 1 мм. Полученные агоруды удовлетворяют временным техническим условиям (ВТУ) УзНИИХи, включая показатели сорбционной активности, обменной емкости и пригодности для применения в качестве минеральных удобрений и мелиорантов [7, 8].

Методика оценки перспективности. Анализ распространения глауконитосодержащих пород проводился с учетом стратиграфических, фациально-литологических и палеогеографических признаков, обеспечивших картографирование глауконитоносных горизонтов с последующим расчетом прогнозных ресурсов по категориям Р1 и Р2.

Результаты

Впервые наличие глауконита в меловых отложениях низовьев Амударьи отмечено А.Д. Архангельским в 1915 году. Однако потребовалось еще полвека, чтобы на территории Республики были начаты целенаправленные работы с целью выявления месторождений глауконита и его использования в промышленности. Первые поиски были поставлены в южной части Каракалпакии, затем в Приташкентском районе и лишь в последнюю очередь в восьмидесятых годах прошлого века на юге Республики. В результате были открыты весьма существенные месторождения, причем часто комплексные: глауконита и бентонитовых глин. В республике Каракалпакстан в период 1960–1999 гг. было открыто два крупных проявления глауконитового сырья – Крантау и Кызылджар [9].

Проявление Крантау расположено в Нукусском районе, в 40 км к СЗ от г. Нукуса. Оно представляет собой останцевую возвышенность, вытянутую в меридиональном направлении на расстоянии 4,5 км при ширине 1,5–1,8 км. Песчаник глауконитоносный мелкозернистый, зеленовато-серого, темно-зеленого цвета. Слабо сцементирован глинистым материалом. Мощность пласта 4,0–5,0 м.

По химическому составу глаукониты Крантау являются смешаннослойными образованиями гидрослюдисто-монтмориллонитового состава. Содержание глауконита в породе неравномерное. Содержание его увеличивается снизу вверх по разрезу, и наибольшие концентрации приурочены к первым двум метрам пласта. Далее с глубиной количество глауконита резко уменьшается, что подтверждается практически всеми выработками за редким исключением. Содержание глауконита варьируется от 1,24 до 29,21%, из чего явствует, что распределение глауконита

в породе неравномерное и содержания низкие (среднее – 9,8%) [10].

Ресурсы бентонитоподобных глин и глауконитсодержащих песчаников подсчитаны в горной массе в контуре, ограничивающемся разведочными линиями, и составляют порядка 9 млн т. по категории P1, соотношение объема пород вскрыше к объему полезного ископаемого – 0,7. При комплексной отработке глауконита совместно с высококачественными бентонитовыми глинами значимость проявления возрастает.

Проявление Кызылджар находится в 30 км к востоку от г. Кунграда, на левом борту реки Амударья. Проявление расположено в восточной половине возвышенности, севернее горы Крантау и протягивается на север-северо-восток на расстоянии 3,0–3,5 км при ширине 500–600 м. Глауконит встречается в очень небольших количествах в зернах неправильной формы с округлыми краями буровато-зеленоватого цвета, часто пропитанных гидроокислами железа. Таким образом, песчано-глинистая толща проявления Кызылджар сложена переслаиванием слабо сцементированных песчаных алевритов с содержанием глауконита до 1,2%. Прогнозные ресурсы их составляют 128,3 млн т.

На территории Приташкентского района открыто месторождение крупное Чанги, расположенное в 60 км восточнее г. Ташкента на юго-западном погружении Сюренъятинской брахиантиклинали, пространственно и генетически связано с отложениями палеогена. Продуктивная толща представлена пластовой залежью глауконитовых песчаников среди песчано-глинистых осадков мощностью 0,5–4,5 м и протяженностью 3 км [11].

Нижняя часть глауконитового пласта представлена плотными, хорошо сцементированными фосфатно-глинистым цементом песчаниками с содержанием глауконита 53–85%. Средняя часть сложена рыхлыми песчаниками. Породы состоят из зерен кварца и глинистых минералов. Содержание глауконита 19,3%. Верхняя часть пласта аналогична нижней, но в основании ее залегает линзующийся пропласток (5–7 см) желваковых фосфоритов. Содержание глауконита 53–76%. Минеральный и химический составы глауконитовых пород относительно однородны и достаточно стабильны. Высокие содержания глинозема фиксируются в нижней и верхней частях глауконитового горизонта. При этом количество гидрооксидов железа находится в обратно пропорциональной зависимости от содержания Al_2O_3 . Содержание закисного железа изменяется от 0,4 до 2,58%; K_2O колеблется от 4,3 до 5,3%. Запасы месторождения Чанги оцениваются в 14 млн. тонн глауконитовой руды категории C1+C2.

Близкое строение имеет проявление Болгалы, в геологическом разрезе которого залегают бентонитовые глины и глауконитовые песчаники, каждый из которых может использоваться в качестве агроруд. Авторские запасы категории C1 + C2 глауконитового песчаника составляют 140 тыс. т, бентонитовых глин 560 тыс. т.

В Южном Узбекистане выявлены три месторождения глауконитовых песчаников (Кофрун, Аксу, Мабика) и более двадцати проявлений различных размеров и степени перспективности.

Месторождение Кофрун расположено в Байсунском районе в 40–50 км к северо-востоку от районного центра Шерабад. Продуктивная толща связана с отложениями нижнего и верхнего мела, состоящая из переслаивающихся песчаников, известняков, алевритов, глин и гравелитов, содержащих желваки фосфорита и содержит несколько пластов глауконитсодержащих песчаников, из которых интерес представляют «нижний» и «верхний» пласты, разделенные пластами глин и алевритов (рис. 1, 2). Мощность нижнего пласта 2–8 м при содержании глауконита 4,4–17%, верхнего – 4,0–10,0 м при содержании глауконита 12,1–20,9%, в редких случаях до 44%. Глауконитовый горизонт прослежен на расстоянии 8,5 км, при ширине выхода от 50 до 600 м. Общая мощность горизонта 8–28 м. Минеральный состав: кварц – 33,4–45%, полевые шпаты – 3,45%, глауконит – 14–16%, обломки – 6,8%, глинистое вещество – 14,1%, карбонат – 8%, слюды и хлора – менее 1%.

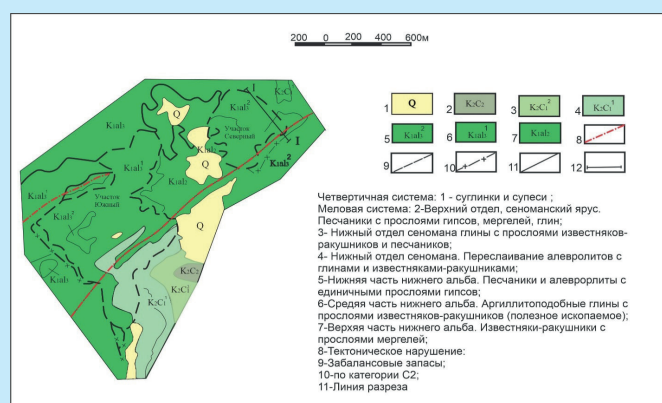


Рис. 1. Геологическая карта Кафрунского месторождения глауконитовых песчаников.

Сурет 1. Кафрун глауконитті құмтас кен орнының геологиялық картасы.
Figure 1. Geological map of the Kafrun glauconitic sandstone deposit.

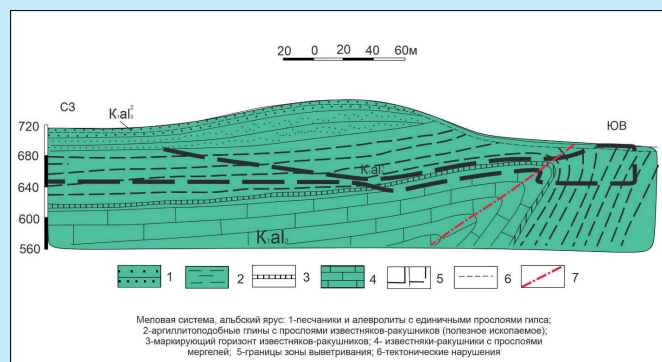


Рис. 2. Геологический разрез по линии I-I Кафрунского месторождения глауконитовых песчаников.

Сурет 2. Кофрун глауконитті құмтас кен орнының I-I сызығы бойымен геологиялық қимасы.
Figure 2. Geological cross-section along line I-I of the Kafrun glauconitic sandstone deposit.

Химсостав (в %): SiO_2 – 61,15; TiO_2 – 0,28; Al_2O_3 – 8,53; Fe_2O_3 – 2,52; FeO – 2,44; MgO – 1,45; CaO – 9,56; Na_2O – 1,88; K_2O – 1,71; SO_3 – 0,24; H_2O – 0,80; п.п.п. – 10,01.

Запасы песчаников со средним содержанием глауконита 17% по кат. С2 составляют 34,7 млн м³.

Месторождения глауконитовых песчаников Мабика и Аксу расположены в Кашкадарьинской области в непосредственной близости друг от друга. В связи с этим многие аспекты геологического строения месторождений Мабика и Аксу идентичны, поэтому описание приводится совместное.

Глауконитовые песчанники, приуроченные к отложениям нижнего и верхнего мела, зеленовато-серого, темно-зеленого цвета, мелко- и среднезернистые, полимиктовые с зерновидными включениями глауконита. Протяженность продуктивной толщи на месторождении Аксу 8,2 км при мощности 10–13 м, а на Мабике, соответственно, 2,9 км при мощности 21,5–33,0 м. Средний химический состав глауконитовых песчанников месторождения Аксу и Мабика приведен в таблице 1.

Таблица 1

Среднее содержание химических компонентов глауконитовых песчанников месторождений Аксу и Мабика, по данным групповых проб, %

Кесте 1

Аксу және Мабика кен орындарының глауконитті құмтастарындағы химиялық компоненттердің орташа мөлшері (топтық сынамадар деректері бойынша), %

Table 1

Average content of chemical components in glauconitic sandstones from the Aksu and Mabika deposits based on composite sample data, %

Химические компоненты	Среднее содержание	Химические компоненты	Среднее содержание
SiO_2	62,47	P_2O_5	0,38
Al_2O_3	12,73	K_2O	3,42
Fe_2O_3	5,40	Na_2O	1,14
FeO	1,75	SO_3	0,20
CaO	1,64	CO_2	0,82
MgO	2,14	H_2O	1,48
TiO_2	0,54	п.п.п.	5,78
MnO	0,10		

Разброс содержаний основных лимитирующих окислов (K_2O – от 2,40 до 4,30%; P_2O_5 – от 0,10 до 2,20%; MgO – от 0,50 до 4,60%) с поверхности и на глубину, по простиранию и падению (по разведочным линиям) практически идентичен и отвечает требованиям, предъявляемым к аггрудам, по данным УзНИИХ.

По карбонатности глауконитовые песчанники относятся к слабоизвестковым: карбонатность меняется от 2,5 до 18,5%, составляя в среднем по участку 7,1%.

Гранулометрический состав полезного ископаемого изучен по 61 групповой и трем технологическим пробам. Средние показатели приведены в таблице 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав полезного ископаемого

Кесте 2

Пайдалы қазбаның гранулометриялық құрамы

Table 2

Granulometric composition of the mineral resource

Гранулометрический состав полезного ископаемого	Соотношение фракций в пробе	Среднее содержание глауконита, %
Песчаная (1,0–0,1 мм)	7,42	3,72
Алевритовая (0 – 0,001 мм)	52,30	15,59
Глинистая (< 0,01 мм)	40,27	30,15

Сопоставлением устанавливается различие в содержании SiO_2 и FeO : на месторождении Аксу содержание SiO_2 на 4,71% больше и на 3,60% меньше по содержанию FeO ; остальные компоненты практически содержатся в равных значениях.

Запасы месторождения Аксу составили: категории: С2 – 7,4 млн т, Р1 – 3,3 млн т; запасы месторождения Мабика: категории: С2 – 21,9 млн т, Р1 – 5,5 млн т.

Результаты исследований свидетельствуют, что глауконитовые песчанники месторождений Аксу и Мабика по содержанию основных компонентов и микроэлементов (по химическому составу), по минеральным и другим лимитируемым показателям отвечают техническим требованиям по глауконитовым породам и временным техническим условиям УзНИИХи. Глауконитовые песчанники после механического дробления до 1 мм являются новым дешевым видом удобрений – мелиорантов комплексного действия, изготавливаемых на основе дешевого местного сырья.

Обсуждение

Помимо месторождения Кофрун, в 70-х годах прошлого века установлено еще 11 проявлений (Гузан, Акрабад, Каттакишлак, Пачкамар, Газдагана, Карадарья, Акдарья-Аккапчигай, Лянгар, Шаргунь, Кансай, Игрису) глауконитсодержащих пород, развитых в пределах Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областей. Геологическое строение их идентично строению месторождения Кофрун. Так как все проявления формировались в нижне-верхнем мелу – в альбских, либо сеноманских слоях в одинаковых фациальных условиях. Продуктивная толща мощностью до 60–80 м состоит из нескольких пластов песчаников и алевролитов, чередующихся с глинами, алевролитами, известняками, иногда ракушниками. Глауконитовые песчанники, реже алевролиты, представляют собой пластовые залежи серого, серо-зеленого цвета, прослеживающиеся на протяжении от 3 до 15 км, иногда до 25–30 км (Гузан, Акрабад) при мощности продуктивных пластов от 2–3 до 8–10 м и средним содержанием глауконита 10–30%, иногда до 50–80% (Каттакишлак). В последнем случае глауконитовая залежь по содержанию полезного компонента приближается к концентрату и может использоваться без дополнительного обогащения в лакокрасочной (пигмент) и химической промышленности (адсорбент нефтепродуктов).

Вмещающие продуктивный горизонт песчано-глинистые образования также в небольших количествах содержат глауконит. Падение пород близкое к горизонтальному, но иногда под углом 18–20°, 45° и даже 80–83° (Газдагана).

К весьма перспективным следует отнести проявления с подсчитанными ресурсами категории P2: Гузан (11,2 млн т), Акрабад (2,9 млн т), Каттакишлак (2,4 млн т) и Пачкамар (352 тыс. т) со средним содержанием глауконита 20–37%, 15–40%, 50,4% и 33,7%, соответственно, и имеющих распространение по простиранию до 25–30 км (Гузан, Акрабад). Для выяснения промышленной значимости этих объектов рекомендуется постановка предварительной оценки с подсчетом запасов категории C2 и прогнозных ресурсов категории P1, на основании которых будет принято обоснованное решение о необходимости проведения следующих стадий ГРП.

На одном из самых крупных проявлений Газдагана, в продуктивной толще которого залегают 12 глауконитовых горизонтов, с содержанием глауконита 10–35%, прослеживающиеся на 5–8 км, ресурсы по предварительным подсчетам составляют 50 млн т. На перспективных проявлениях Карадарья и Акдарья-Аккапчигай ориентировочные ресурсы – 20 млн т и 27 млн т соответственно, с содержанием полезного компонента 30–50% в пластах мощностью 2,5–4,0 м.

Значительно позже, в 1996–2003 гг. было дополнительно установлено 7 перспективных проявлений – Тагарасай, Найман, Чит, Обираван, Дуоб, Сангмулла, Тахтакишлак.

Они размещены в пределах Камашинского и Дехканабадского районов Кашкадарьинской области, приурочены к отложениям меловой системы (верхний альб, нижний сеноманский ярусы). В геологических разрезах проявлений фиксируются по два горизонта глауконитосодержащих и два – глауконитовых песчаников. Горизонты глауконитосодержащих песчаников приурочены к верхней части разреза ширабадской (K1) и верхней части тагаринской (K2) свит. Горизонты по простиранию прослеживаются почти повсеместно. Содержание глауконита в них обычно невысокое и изменяется от 4,12 до 7,48%. Поэтому подсчет прогнозных ресурсов по ним не производился.

Продуктивные горизонты глауконитовых песчаников приурочены к середине разреза отложений аккапчигайской (K1) и средней части разреза отложений тубегатанской (K2) свит. Перекрывающими и подстилающими породами продуктивных горизонтов являются зеленовато-серые неплотные алевролиты, также содержащие от единичных зерен до 10% глауконита. Они прослеживаются по простиранию на 3–8 км, иногда до 15 км (Тахтакишлак) при мощности 4,0–6,0 м, реже до 21,25 м (Тагарасай). Содержание глауконита в них от 13,4 до 28,5%, редко до 54,9% (Обираван). По содержанию основных окислов глауконитовые песчаники продуктивных горизонтов отвечают временным требованиям, разработанным в УзНИИХи к глауконитам, как к агросырью. По продуктивным горизонтам каждого проявления подсчитаны прогнозные ресурсы категории P1.

К наиболее перспективным отнесены проявления Тагарасай и Найман. Они находятся вблизи от основных посевных площадей хлопчатника Кашкадарьинской обла-

сти в хороших горно-геологических, горно-технических и экономических условиях. Исследования, проведенные Институтом химии по технологическим пробам ТП-1 и ТП-2, проявления Найман и Тагарасай при содержании глауконита 50 и 15% показали, что данные агроруды обеспечивают улучшение агрохимических факторов плодородия, орошаемых сероземов и повышают урожайность сельхозкультур на 30–67%. Проявления Тагарасай и Найман следует доизучить с постановкой предварительной оценки с целью определения промышленной значимости объектов, позволяющей принять обоснованное решение о необходимости проведения детальной оценки и разведки месторождения.

К потенциально перспективным проявлениям отнесены Обираван (P1 – 3,45 млн т), Дуоб (P1 – 3,1 млн), Сангмулла (P1 – 3,02 млн т) и Тахтакишлак (P1 – 11,9 млн т), отличающихся некоторой удаленностью от основных посевных площадей промышленности в Кашкадарьинской области.

Проявления Чит и Обишхан в связи с незначительными прогнозными ресурсами, значительной удаленностью от основных посевных площадей, а также перекрытия полезной толщи четвертичными образованиями отнесены к неперспективным.

В начале раздела мы отмечали в целом о малой изученности глауконитового сырья в Узбекистане. По характеру площадного распространения исследуемую нами площадь на сегодняшний день можно отнести к самой насыщенной этим видом полезного ископаемого. Здесь выявлены 4 промышленных месторождения (Чанги, Кофрун, Аксу, Мабика) с общими запасами порядка 140 млн т категории C1 + C2, а также около 20 весьма перспективных проявлений (Гузан, Акрабад, Каттакишлак, Пачкамар, Газдагана, Карадарья, Акдарья-Аккапчигай и др.) с прогнозными ресурсами, в сумме не уступающими запасам вышеуказанных месторождений.

Исключительно для всех перспективных объектов характерны значительные расстояния по простиранию (до 25–30 км), мощности (до 10 м и более) и содержания полезной минерализации (до 60% и более). Все это дает нам основание считать, что промышленность республики обладает хорошей сырьевой базой глауконитового сырья, представленной ранее упомянутыми месторождениями и проявлениями, число которых может возрасти открытием новых залежей на основе приведенных выше закономерностей размещения, поисковых признаков и критериев.

Таким образом, уже сейчас можно сделать вывод о возможности широкого использования глауконитов в промышленности, а также для решения экологических задач. Оцененные запасы и ресурсы месторождений и проявлений глауконитов, выявленные к настоящему времени в пределах глауконитовых провинций Узбекистана, сегодня могут обеспечить предприятия, работающие в ряде упомянутых сфер экономики страны. В частности, поскольку глаукониты легко поддаются обогащению, они могут использоваться в естественном виде как удобрения. Проблема эффективного использования зеленых пигментов кремнеземного типа в качестве красителей может быть решена на локальном уровне путем доизучения и последующего вовлечения в освоение упомянутых выше объектов.

Тем не менее, несмотря на достаточно масштабную сырьевую базу глауконита и возможность его использования во многих сферах экономики страны, в настоящее время спрос на глауконит со стороны промышленных предприятий является минимальным и соответственно добыча ведется в минимальных объемах. Основная причина такого положения – финансовая несостоятельность большинства потенциальных потребителей.

Заключение

В ходе проведенного геолого-геохимического анализа глауконитсодержащих песчаников месторождений Аксу и Мабика установлено, что данные объекты обладают высокой природной перспективностью и промышленной ценностью. Минерально-сырьевая база этих месторождений характеризуется устойчивыми запасами категории С2 в объеме 34,7 млн м³, со средним содержанием глауконита 17%, а также значительными прогнозными ресурсами категории Р1. Продуктивные толщи протяженностью до 8,2 км и мощностью до 33 м, сложенные мелко- и среднезернистыми полимиктовыми песчаниками, приурочены к альб-сеноманским отложениям нижнего и верхнего мела.

Результаты химического анализа показали, что песчаники содержат до 3,42% K_2O , 5,40% Fe_2O_3 , 12,73% Al_2O_3 и 62,47% SiO_2 , что указывает на богатство основными питательными и полезными компонентами. Гранулометрический анализ подтвердил наличие значительного количества глинистой фракции (40,27%) с максимальным содержанием глауконита до 30,15%, что определяет высокую сорбционную емкость породы. По классификации карбонатности, материал относится к слабоизвестковым (средняя карбонатность – 7,1%), что расширяет его возможности в агрономических применениях.

Изучение технологических свойств глауконитовых песчаников показало их высокую пригодность для использования в качестве агроруд – дешевого, локального и экологически безопасного минерального удобрения комплексного действия. Испытания, проведенные с образцами, измельченными до фракции < 1 мм, подтвердили соответствие временным техническим условиям УзНИИХи.

Сравнительный анализ месторождений Аксу и Мабика с другими выявленными проявлениями глауконита (Газдагана, Акрабад, Гузан и др.) на территории Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей позволяет утверждать, что южные регионы Узбекистана формируют ядро глауконитовой провинции страны. Некоторые проявления, такие как Каттакишлак (до 80% глауконита), по содержанию полезного компонента приближаются к промышленному концентрату, пригодному для прямого использования в лакокрасочной и химической промышленности без дополнительного обогащения.

Таким образом, в условиях дефицита минеральных удобрений и потребности в восстановлении плодородия почв, освоение месторождений Аксу и Мабика может сыграть ключевую роль в обеспечении аграрного сектора Республики Узбекистан доступным калийным, магниевым и микроэлементным удобрением. При этом перспективы использования глауконита выходят далеко за пределы промышленности – в сферы экотехнологий, промышленной водоочистки, строительной и нефтехимической отраслей. Потенциал открытых запасов, а также высокие физико-химические свойства глауконита позволяют рассматривать данные месторождения как стратегический источник минерального сырья многоцелевого назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баракаев Т.Б. Предварительная оценка глауконитовых агроруд на участках Тагарасай, Аксу, Найман, Мобика: отчет Тагарасайской ПП по результатам предварительной оценки за 1999–2003 гг, Фонд Госкомгеологии РУз, 2004 (на русском языке)
2. Глауконит месторождения Чанги и перспективы его использования / Бескровный Ю.В. [и др.]. Ташкент: Фан, 1970. 55 с. (на русском языке)
3. Блисковский В.З., Минев Д.А. Камни плодородия: М.: Недра, 1986. 208 с. (на русском языке)
4. Курбаниязов С.К. Основные свойства глауконитов и их широкое применение в различных сферах // Известия НАН РК. Серия геологическая. 2012. № 3. С. 23–35 (на русском языке)
5. Ходжаев Н.Т. Глаукониты Узбекистана – перспективный вид сырья для инвестирования // Узгеоинновация – 2012. Республиканская научно-техническая конференция, Ташкент, 2012 (на русском языке)
6. Характеристика и поведение извлечения кальция из глауконита в условиях контрастных почв / Гасеми С. [и др.]. // Международная агрофизика. 2023. Т. 37. № 3. С. 293–306 (на английском языке)
7. Кумар П., Чаудхари Б., Ратури А. (1 июня 2024 г.) Глауконит как агрономически ценный минерал: обзор современных исследований. Применение глинистых минералов. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.106965> (на английском языке)
8. Шакиров К., Каримов А. Глауконитосодержащие пески Узбекистана – основные характеристики и перспективы // Международный журнал исследований и развития. 2016. Т. 3. № 5. С. 390–395 (на английском языке)
9. Губанов И.В., Котельникова М.А., Шкуропатский С.Ю. О возможности использования в сельском хозяйстве глауконита из пород Бакчарского месторождения (Западная Сибирь) // Инжиниринг георесурсов. 2016. № 3. С. 49–55 (на русском языке)
10. Ганиев У., Закиров Б., Зайнутдинов К. Гранулометрический и микроскопический анализ глауконитосодержащих песчаников месторождения «Чанги» // Труды Международной конференции АИР, 2025. Т. 3286 (на английском языке)

11. Чжан Х., Лю Ю., Ван Цз. Оценка эффективности применения глауконитосодержащей почвы для повышения урожайности сельскохозяйственных культур // *Агрономия*. 2018. Т. 10. № 6. С. 872 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Баракаев Т.Б. Тагарасай, Ақсу, Найман, Мобика учаскелеріндегі глауконитті агрошикізатқа алдын ала баға беру: Тагарасай іздестіру партиясының 1999–2003 жж. Есебі, Өзбекстан Геология комитетінің мұрағаты, 2004 (орыс тілінде)
2. Чанги кен орнының глаукониті және оны қолдану перспективалары / Бескровный Ю.В. [және т. б.]. Ташкент: Фан, 1970. 55 б. (орыс тілінде)
3. Блисковский В.З., Минева Д.А. Құнарлылық тастары: М.:Недра, 1986. 208 б. (орыс тілінде)
4. Курбаниязов С.К. Глаукониттердің негізгі қасиеттері және олардың түрлі салаларда кеңінен қолданылуы // *ҚР ҰҒА Хабаршысы. Геологиялық сериясы*. 2012. № 3. Б. 23–35 (орыс тілінде)
5. Хожяев Н.Т. Өзбекстан глаукониттері – инвестицияға перспективалы шикізат түрі // *Өзгеоинновация – 2012. Республикалық ғылыми-техникалық конференция, Ташкент, 2012* (орыс тілінде)
6. Глаукониттің түрлі топырақ жағдайларындағы сипаттамасы және калий бөлу үлгісі / Гасеми С. [және т. б.] // *Халықаралық агрофизика*. 2023. Т. 37. № 3. Б. 293–306 (ағылшын тілінде)
7. Кумар П., Чаудхари Б., Ратури А. (1 маусым 2024 ж.) Ауыл шаруашылығындағы глауконитті қолдану: соңғы жетістіктерге шолу. *Applied Clay Science*. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.106965> (ағылшын тілінде)
8. Шакиров Қ., Каримов А. Өзбекстан глауконитті құмдарының негізгі ерекшеліктері және перспективалары // *Халықаралық зерттеулер мен даму журналы*. 2016. Т. 3. № 5. Б. 390–395 (ағылшын тілінде)
9. Губанов И.В., Котельникова М.А., Шкуронатский С.Ю. Бақчар кен орны глауконитін ауыл шаруашылығында қолдану мүмкіндігі // *Георесурстар инженерингі*. 2016. № 3. Б. 49–55 (орыс тілінде)
10. Ганиев У., Зокиров Б., Зайнутдинов Қ. «Чанги» кен орны глауконитті құмтастарының гранулометриялық және микроскопиялық талдауы // *AIP халықаралық конференциясының материалдары*. 2025. Т. 3286 (ағылшын тілінде)
11. Чжан Х., Лю Ю., Ван Цз. Глауконитті топырақты қолданудың әсерін бағалау // *Агрономия*. 2018. Т. 10. № 6. Б. 872 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Barakayev T.B. Predvaritel'naya otsenka glaukonitovykh agrorud na uchastkakh Tagarasoy, Aksu, Nayman, Mobika: otchet Tagarasayskoy POP o rezul'tatakh predvaritel'noy otsenki za 1999–2003 gg. [Preliminary assessment of glauconitic agroraw materials at Tagarasoy, Aksu, Nayman, Mobika sites: Report of Tagarasay prospecting party for 1999–2003], Fond Goskomgeologii RUz [Archive of State Committee on Geology of Uzbekistan], 2004 (in Russian)
2. Glaukonit mestorozhdeniya Changi i perspektivy ego ispol'zovaniya [Glauconite of the Changi deposit and prospects for its use], Beskrovnyy Yu.V. [et al.], Tashkent: Fan, 1970. 55 p. (in Russian)
3. Bliskovskiy V.Z., Mineyev D.A. Kamni plodorodiya [The stones of fertility]. Moscow: Nedra, 1986. 208 p. (in Russian)
4. Kurbaniyazov S.K. Osnovnye svoystva glaukonitov i ikh shirokoye primeneniye v razlichnykh sferakh [Main properties of glauconites and their wide application in various fields], Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya [News of NAS RK. Geological series]. 2012. No. 3. 23–35 pp. (in Russian)
5. Khojaev N.T. Glaukonity Uzbekistana – perspektivnyy vid syr'ya dlya investirovaniya. Uzgeoinnovatsiya – 2012 [Glauconites of Uzbekistan – a promising type of raw material for investment. Uzgeoinnovation – 2012], Respublikanskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya [Republican Scientific and Technical Conference]. Tashkent, 2012 (in Russian)
6. Characterization and Release Pattern of Glauconite in Contrasting Soil Conditions / Ghasemi S. [et al.] // *International Agrophysics*. 2023. V. 37. No. 3. 293–306 pp. (in English)
7. Kumar P., Choudhary B., Raturi A. (1 June, 2024) Glauconite Applications in Agriculture: A Review of Recent Advances. *Applied Clay Science*. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.106965> (in English)
8. Shakirov K., Karimov A. Glauconite Containing Sands of Uzbekistan – Key Features and Prospects // *International Journal of Trend in Research and Development*. 2016. V. 3. No. 5. 390–395 pp. (in English)
9. Gubanov I.V., Kotel'nikova M.A., Shkuropat'skiy S.Yu. O vozmozhnosti ispol'zovaniya v sel'skom khozyaystve glaukonita iz porod Bakcharskogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir') [On the possibility of using glauconite from the Bakchar deposit (Western Siberia) in agriculture], Inzhiniring georesursov [Engineering of Georesources]. 2016. No. 3. 49–55 pp. (in Russian)
10. Ganiev U., Zokirov B., Zaynutdinov K. Granulometric and Microscopic Analysis of Glauconite-Containing Sandstones from the «Changi» Deposit // *AIP Conference Proceedings*, 2025. V. 3286 (in English)
11. Zhang H., Liu Y., Wang J. Evaluation of the Effects of the Application of Glauconitic Soil // *Agronomy*. 2018. V. 10. No. 6. 872 p. (in English)

Сведения об авторах:

Жумагазиев А., ст. преподаватель кафедры «География и туризм» Атырауского государственного университета им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан), arman_sebek@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8198-2661>

Кенжебай Р., канд. пед. наук, доцент кафедры «Биология и география» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан), kenzhebay73@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1231-6144>

Курбаниязов С., канд. геогр. наук, исполняющий обязанности доцента кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмета Ясауи (г. Туркестан, Казахстан), saken.kurbaniyazov@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-0875-2771>

Шоймуротов Т.Х., д-р геол.-минер. наук, главный научный советник, Государственное учреждение «Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Ташкент, Узбекистан), igirnigm@ing.uz; <https://orcid.org/0009-0007-4639-2969>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жұмағазиев А., Х. Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университетінің «География және туризм» кафедрасының аға оқытушысы (Атырау қ., Қазақстан)

Кенжебай Р., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Биология және география» кафедрасының доценті, педагогика ғылымдарының кандидаты (Шымкент қ., Қазақстан)

Құрбаниязов С., г.ғ.к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің «Экология және химия» кафедрасының міндетін атқарушы доценті (Түркістан қ., Қазақстан)

Шоймуротов Т.Х., геология-минералогия ғылымдарының докторы, Өзбекстан Республикасының Тау-кен өнеркәсібі және геология министрлігіне қарасты «Мұнай және газ кен орындарын барлау геологиясы институты» мемлекеттік мекемесінің бас ғылыми кеңесшісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

Information about the authors:

Zhumagaziev A., Senior Lecturer, Department of Geography and Tourism, K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan)

Kenzhebay R., candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Geography SKU named after M. Auezov (Shymkent, Kazakhstan)

Kurbaniyazov S., c.g.m.s., acting associate professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan)

Shoimurotov T.Kh., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Scientific Advisor of the State Institution «Institute of Geology and Exploration of Oil and Gas Fields» of the Ministry of Mining and Geology of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan)

межрегиональная специализированная выставка**САХАПРОМЭКСПО****4 – 5 ДЕКАБРЯ 2025 г. ЯКУТСК**

**НЕДРА ЯКУТИИ. СПЕЦТЕХНИКА.
ЭКОЛОГИЯ. ЭНЕРГО.
СВЯЗЬ. БЕЗОПАСНОСТЬ**

Организаторы:

**Выставочная компания
Сибэкспосервис**
г. Новосибирск



**Выставочная компания
СахаЭкспоСервис**
г. Якутск

Тел: (383) 3356350, e-mail: vk ses@yandex.ru, www.ses.net.ru

Код МРНТИ 31.15.19

*А.С. Серикканов, Т.С. Турмагамбетов, М.Ф. Тамендаров, Д.О. Кантарбаева
Satbayev University, Физика-техникалық институты (Алматы қ., Қазақстан)

АЛДЫН АЛА ШЛАКТЫҚ ТАЗАРТУДАН ӨТКЕН МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КРЕМНИЙДІ ХИМИЯЛЫҚ ТАЗАРТУ ӘДІСТЕРІ

Аннотация. Күн сапалы кремний алу үшін металлургиялық кремнийді химиялық тазарту әдісі анықталды. Шлақты тазарту балқымаңың кремний фазасына және әртүрлі оксидтер мен силицидтерден тұратын екінші фазаға бөлінуіне әкелетіндіктен, қожды алдын ала тазарту әдісі қышқылды тазарту кезінде металлургиялық кремнийдің жоғары тазалығына қол жеткізу мүмкіндігін ашатыны көрсетілген. Кремний қоспалары кремний түйіршіктерінің шекараларында шоғырланған екінші фазаға өтеді, бұл одан кейінгі қышқылды тазарту барысындағы ластану деңгейін айтарлықтай төмендетеді. Бұл зерттеуде металлургиялық кремнийді химиялық өңдеу кезеңдері әзірленді, материалдың бөлшектер мөлшері бойынша таралуы, сілтісіздендіру ерітіндісінің құрамы, химиялық тазалау процесінің уақыты мен температурасы оптимизацияланды. Қоспа элементтері көмегімен ұнтақты кремний материалының аса тазалығына қол жеткізілді.

Түйінді сөздер: металлургиялық кремний, шлақты тазарту, шлак, жаңартылатын энергия, бағытталған кристалдану, концентрация, кремний, түйір, қышқылды тазарту, күн сапалы кремний.

Methods of chemical cleaning of metallurgical silicon subject to preliminary slag refining

Abstract. Methods of chemical purification of metallurgical silicon for obtaining solar-grade silicon have been developed. Preliminary slag refining opens up the possibility of achieving high purity of metallurgical silicon during acid purification due to the fact that slag refining leads to melt stratification into a silicon phase and a second phase consisting of various oxides and silicides. Impurities from silicon pass into the second phase, which is concentrated at the boundaries of silicon grains. The stages of chemical processing of metallurgical silicon have been developed, the granulometric composition of the material, the composition of the leaching solution, the time and temperature of the chemical purification process have been optimized. High purity of powdered silicon material for target impurity elements has been achieved.

Key words: metallurgical silicon, slag refining, slag, renewable energy, directional crystallization, concentration, silicon, grain, acid refining, solar grade silicon.

Методы химической очистки металлургического кремния, подвергнутого предварительному шлаковому рафинированию

Аннотация. Отработаны методы химической очистки металлургического кремния для получения кремния солнечного качества. Предварительное шлаковое рафинирование открывает возможность достижения высокой чистоты металлургического кремния в ходе кислотной очистки благодаря тому, что шлаковое рафинирование приводит к расслоению расплава на фазу кремния и вторую фазу, состоящую из различных оксидов и силицидов. Примеси из кремния переходят во вторую фазу, концентрирующуюся на границах зерен кремния, что делает последующую кислотную очистку весьма эффективной для уменьшения уровня загрязнений. Отработаны этапы химической обработки металлургического кремния, оптимизированы гранулометрический состав материала, состав раствора для выщелачивания, время и температура процесса химической очистки. Достигнута высокая чистота порошкового кремниевого материала по целевым примесям элементам.

Ключевые слова: металлургический кремний, шлаковое рафинирование, шлак, возобновляемая энергия, направленная кристаллизация, концентрация, кремний, зерно, кислотная очистка, кремний солнечного качества.

Кіріспе

Табиғи қазба отындарының сарқылуы және экологиялық мәселелер секілді бірқатар себептерге байланысты, қазіргі уақытта электр энергиясын өндіру кезінде экологияны ластайтын және климаттың өзгеруіне ықпал ететін парниктік газдар шығарындыларын шығармайтын таза және жаңартылатын энергия көздерімен бірге күн фотовольтаикасы да қарқынды дамып келеді [1, 2]. Ұлан асыр аумақта орналасқан көп түрлі шаруашылығы бар Қазақстан үшін энергиямен жабдықтауды орталықсыздандыру экономикалық және әлеуметтік дамуға ықпал ететін маңызды фактор болып табылады. Тұрғын үйлердің, ғимараттардың, фермалардың шатырларына және жерге орнатуға болатын күн фотоэлектрлік панельдері орталықтандырылған электр желілеріне жүктемені азайтып, электр берудегі шығындарды азайта отырып, шалғайдағы желіден тыс аймақтарда өмір сүру сапасын жақсартады.

Күн батареяларының басым бөлігін өндіруге арналған негізгі материал – бұл күн сапалы поликристалды кремний, оның нарықтық құны қоспалар концентрациясына талаптардың аздығына байланысты жоғары таза монокристалды жартылай өткізгіш кремнийге қарағанда айтарлықтай төмен [3–7]. Дегенмен, күн сапасындағы кремнийдің құнын одан әрі төмендету дегеніміз – күн батареяларының бағасын арзандату және қолжетімділігін арттыру үшін өте өзекті мәселе, өйткені күн батареялары құнының айтарлықтай үлесі фотоэлементтер жасалған материалдың құнымен анықталады.

Дәстүрлі хлорсилан әдісі арқылы поликристалды кремний алу айтарлықтай энергия шығынын қажет етеді, сондықтан шикізат ретінде арзан металлургиялық кремнийді пайдалана отырып, күн сапалы кремний өндіру әдістері экономикалық үнемді балама болып табылады. Көп мөлшерде қажетсіз қоспасы бар металлургиялық кремнийді күн сапасындағы кремнийге ауыстыру үшін қоспалардан тазарту мен оны жоюдың түрлі әдістері қолданылады [3–7]. Бұл әдістерді бірнеше негізгі санаттарға бөлуге болады: газ-фазалы тазарту – кремнийді алдымен ұшпа қосылыстарға айналдыратын, содан кейін газ-фазалық тазартылып, термиялық ыдыратылатын әдіс, өнеркәсіптік ауқымда жоғары тазалықтағы кремнийді де, күн сапалы кремнийді де өндіру үшін қолданылады.

Қожды өңдеу арқылы металлургиялық өңдеудің экономикалық тиімділігі жоғары. Бұл әдісте кремнийдің балқыту фазасына көбінесе төмен балкитын қосылыстар енгізіледі, бұл қосылыстар металлургиялық кремнийдегі артық қоспалармен әрекеттеседі де, осы фазалардағы қоспалардың жоғары ерігіштігіне байланысты оларды адсорбциялайды. Нәтижесінде, салқындағаннан кейін балқыма қабатталып, ал қоспалар екінші, шлак фазасына түседі.

Қоспалардан арылту үшін қышқыл немесе сілтілермен химиялық улау қолданылады. Бұл процесс қоспалар поликристалды кремний түйіршіктерінің шекарасы мен бетінде шоғырланған жағдайда тиімді болады.

Аймақтық балқыту және бағытты қатаю тиімді өңдеу процестері болып табылады. Бұл әдістерде тазарту кремнийдің сұйық фазасындағы қоспалардың қатты фазамен

салыстырғанда ерігіштігінің жоғары болуына байланысты жүреді, бұл үздіксіз кристалдану фронты болған кезде қоспаларды балқымаға ығыстыруға және балқыманың кристалдануы кезінде қоспалардың концентрациясын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

Тотығу және плазмалық өңдеу – мұндай өңдеу әдістерін қолдану негізінен беттік ластанудан тазарту үшін тиімді.

Бұл әдістерді үйлестіре отырып, бірге қолданғанда тиімдірек және қоспалардың тазалығы мен концентрациясы бойынша күн кремнийінің қажетті параметрлеріне жақындауға мүмкіндік береді. Біз осыған дейін металлургиялық кремнийді тазарту үшін қожды тазарту әдісі бойынша зерттеулер жүргіздік [8–10] және химиялық тазарту бойынша зерттеулерді қолға алған болатынбыз. Бұл жұмыста металлургиялық кремнийді шлактау арқылы алынған кремний қорытпаларын химиялық тазарту бойынша тәжірибелердің нәтижелері берілген.

Бастапқы материалдар

Құрамында кремнийі бар бастапқы материал ретінде бірқатар негізгі және қышқыл оксидтерді, сонымен қатар фторидтерді, мысалы, CaO , SiO_2 , CaF_2 , MgO , BaF_2 , BaO , LiF және т. б. қоспаларды қолдану арқылы металлургиялық кремний MG-Si тазарту арқылы алынған тәжірибелік балқыту кезінде алынған кремнийі бар қорытпалардың үлгілері пайдаланылды [8–10].

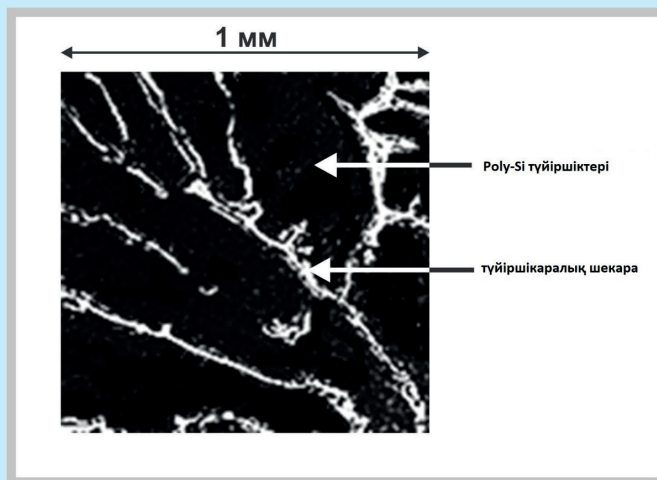
Қожға бор және фосфор сияқты қоспаларды алу үшін шлақтың негізділігі, яғни негізгі және қышқыл оксидтердің қатынасы (салмағы бойынша) 2-ден жоғары сақталды.

Қожды өңдеу сонымен қатар силицидтердің екінші фаза түріндегі тиімді түзілуіне әкелді, бұл силицидтік фазадағы қоспа атомдарының жоғары ерігіштігінен кремнийден қоспаларды кетіруге ықпал етті.

Мұндай поликристаллды қорытпаларда кристалл түйіршіктері кремний болып табылады, ал қажетсіз қоспалардың негізгі бөлігі 1-суреттегі диаграммада көрсетілгендей екінші фазалық тұнбаларда түйіршік шекараларында шоғырланған. Қоспалар дэндердің шекараларында балқыманың салқындату процесінде сегрегация эффектісінің нәтижесінде де концентрацияланады. Балқыманы салқындату кезінде кристалдану орталықтары пайда болады және кристалдар өскен сайын төмен сегрегация коэффициенті бар элементтер, негізінен металл қоспалары пайда болған түйірлердің шекарасына итеріледі. Осылайша, қоспалар кристалдық түйіршіктердің шекарасында шоғырланған. Бұл химиялық тазартуды фракциялық елеуішпен біріктіруді өте тиімді әдіс етеді. Екінші жағынан, бор мен фосфор сияқты сегрегация коэффициенті жоғары элементтер түйіршіктер мен оның шекаралары бойынша біркелкі таралады. Сондықтан кремнийдің сипаттамаларына теріс әсер ететін бор мен фосфордың қоспаларын жою үшін шлақтың ерекше құрамы қажет.

Эксперименттік нәтижелер

Қышқылды тазартудың түрлі әдістері сыналды және әртүрлі тиімділігін көрсетті. Атап айтқанда, қолданылатын реагенттер мен қышқылдардың әртүрлі түрлерінің негізгі қоспа элементтерін, сондай-ақ фосфидтерден, боридтерден және кремний карбидтерінен тұратын екінші



Сурет 1. Металлургиялық кремнийді шлақтық рафинадтаудан кейін алынған поликристаллды кремний poly-Si құрылымын көрсететін сызба.

Figure 1. Schematic diagram showing the structure of polycrystalline silicon poly-Si obtained after slag refining of metallurgical silicon.

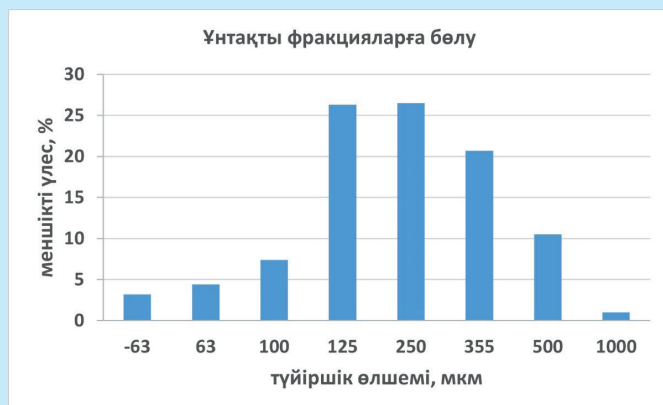
Рис. 1. Схема, показывающая структуру поликристаллического кремния poly-Si, полученного после шлакового рафинирования металлургического кремния.

фазаны жою тиімділігіне әсері зерттелді. Бөлшектердің мөлшеріне, сілтісіздендіру уақытына, процестің температурасына байланысты кремнийді тазарту тиімділігі зерттелді.

Металлургиялық кремнийді қышқылда өңдеу механикалық араластырғышпен араластыра отырып, тefлонды ыдыстарда жүргізілді. Бөлме температурасына дейін ауада өндеп, салқындатқаннан кейін ерітінді кремнийден декантация арқылы бөлініп, бейтараптандыру және пайдалану үшін ыдысқа құйылады. Қожды тазартудан кейін және қышқылмен тазалау алдында шлактан металлургиялық кремнийдің үлгісі бөлініп алынды, бетінің ауданын ұлғайту және тазалау процесін жылдамдату үшін ірі бөлшектер ірі ұнтаққа дейін ұсақталды.

Металлургиялық кремнийді қышқылдық-химиялық тазарту әдісі қышқылдардың кремнийде болатын оксидтер мен силицидтердің екінші фазасы түріндегі қоспаларды түйірлер шекарасында іріктеп еріту қабілетіне негізделген. Оның үстіне кремний түйірлері қолданылатын қышқылдарда ерімейді. Қышқылдар түйіршікаралық кеңістікке еніп, қожды тазартудан кейін алынған материалдың фракцияларға бөлінуін тудырады. Механикалық електерді қолдану арқылы кейінгі гранулометрия материалды фракцияларға бөлуге мүмкіндік береді. 2-суретте кремний түйіршіктерінің мөлшеріне байланысты қышқыл ерітіндісінде (3M HNO_3) өндеуден кейінгі әрбір ұнтақ фракциясының үлесі (% массада) көрсетілген.

Жүргізілген жұмыстардың нәтижесінде қоспаларды тиімді жою үшін оңтайлы өңдеу режимдері анықталды. Өңдеу жүргізілген сайын тазалау тиімділігі артып, өңдеу уақыты қысқарды. Өңдеу уақыты бойынша шамамен 80 °C температура оңтайлы болды. Су бар қышқыл ері-



Сурет 2. Қышқыл ерітіндісіндегі өндеуден кейінгі түйір өлшеміне байланысты кремний ұнтағы фракцияларының мөлшері.

Figure 2. The content of silicon powder fractions depending on the grain size after treatment in an acid solution.

Рис. 2. Содержание фракций кремниевого порошка в зависимости от размера зерен после обработки в кислотном растворе.

тінділерінің концентрациясы және кремний ұнтағының қышқылға массалық қатынасы материалды тұтыну мен процестің тиімділігін төмендету үшін оңтайландырылған. Азот қышқылында өндеудің екі кезеңін жүргізу бір реттік өндеуге қарағанда тиімдірек болды, бірақ үш рет өндеудің нәтижесі айтарлықтай айқын емес. Үшінші өндеуді кремний ұнтағы мен қышқылдың бірдей қатынасында $\text{HF} + \text{HNO}_3$ қышқылдарының су бар қоспасында жүргізгенде, қоспаларды кетіру дәрежесі айтарлықтай өсті. Мұндай өндеудің тиімділігі температураға тәуелді емес, сондықтан кремнийдің тотыққан формаларын (SiO , SiO_2) оларда еріген қоспалармен жою үшін қышқыл қоспасында өндеу бөлме температурасында жүргізілді. Қышқылдық өндеу аяқталғаннан кейін кремний ұнтағы ерітіндіден декантация арқылы бөлініп, ерітінді қышқылдығы бейтарап болғанша тазартылған сумен жуылады және тұрақты салмаққа жеткенше электр пешінде кептірілді.

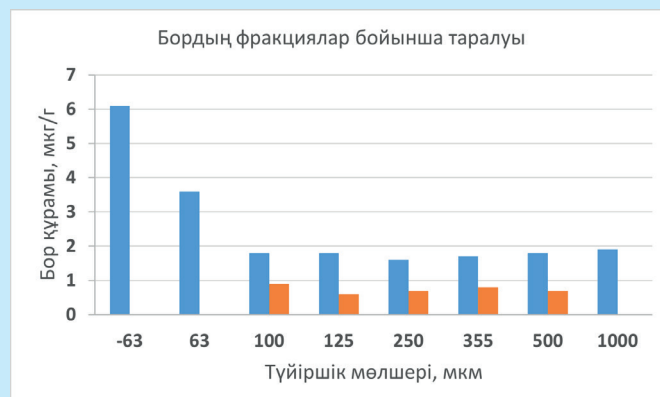
Жүргізілген жұмыстардың талдауы алдын ала шлағ тазалауға ұшыраған металлургиялық кремнийді қышқылмен өндеу Al , Ca , Fe қоспаларын қоспағанда, бірқатар қоспалардың (K , Na , Cr , Sr , Mn , Cu) концентрациясын күн сапалы кремний деңгейіне дейін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Шамасы, Al , Ca , Fe қоспаларының жоғары концентрациясы қожды тазалау сатысында CaO , SiO_2 , CaF_2 , Na_2CO_3 , MgO , Al_2O_3 флюстерін енгізген кезде осы қоспалармен айтарлықтай ластануды енгізумен түсіндіріледі. Әртүрлі қоспалар үшін қышқылды тазартудың тиімділігі бастапқы үлгідегі қоспа концентрациясының қышқылмен өндеуден кейінгі осы қоспаның концентрациясына қатынасына тең тазарту коэффициенті K арқылы бағаланды. Негізгі қоспалар үшін ол: алюминий қоспалары үшін $K \sim 60$, кальций қоспалары үшін ~ 50 , ал темір қоспалары үшін ~ 200 құрайды.

Сондай-ақ шағын фракцияларда (63 мкм немесе одан аз) қоспалардың көп бөлігі, атап айтқанда, бор атомдары

шоғырланатыны анықталды (3-сурет). Сондықтан бұл фракциялар тазарту процесінен шығарылды және материалдың жоғалуы аз ғана, өйткені бұл ұсақ фракциялар салмағы бойынша шамамен 7,5% құрайды (2-сурет).

Қазірдің өзінде бөлшектердің өлшемдерінің бастапқы таралуы қоспалар концентрациясының фракция өлшеміне айтарлықтай тәуелділігін көрсетеді. Мысал ретінде 3-суретте (көк бағаналар) кремний түйіршіктеріндегі бор қоспаларының мөлшері ерітіндіде өңделгеннен кейін олардың мөлшеріне байланысты қалай өзгергені көрсетілген, бұл бастапқы ұнтақты аз фракцияларға тиімді бөлуді тудырды. Бұл жағдайда FeCl_3 сулы ерітіндісі (концентрация 10%) қолданылды. Кішкентай фракциялардың қоспалармен байытылғанын көруге болады. Сондықтан тазартылған кремний алу үшін ұсақ фракцияларды қолданбаған дұрыс.

Бор қоспаларының қайта бөлінуіне қожды тазалау процесінің белгілі бір параметрлері (қождың сұйықтығы, араластыру кезіндегі балқыманың біртектілігі, фазалық бөлуге жеткілікті уақыт және т. б.) тиімді әсер ететіндігі анықталды. Бор қоспасының едәуір бөлігі кремний түйіршіктерінің бетінде, шамасы, кремний оксидінің жұқа қабатында шоғырланған, өйткені SiO_2 қабаты, сондай-ақ беті қоспалар үшін тиімді ағын болып табылады. Бұл ұнтақты фторлы және азот қышқылдарының әлсіз ерітіндісінде өндеу 3-суретте (қызыл бағаналар) көрсетілгендей бор қоспаларының концентрациясын айтарлықтай төмендететіндігімен дәлелденді. Бұл өндеу кремний түйіршіктерінің оксидті қабатының да, жер бетіне жақын аймағының да қышқылдануына әкеледі.



Сурет 3. Қожды тазартудан кейінгі ұнтақ фракцияларындағы бор қоспасының концентрациясының деңгейі (көк бағана) және фторлы және азот қышқылдары қоспасында (қызыл бағана) өндеуден кейін кремнийдегі бор мөлшерінің төмендеуі.

Figure 3. The concentration level of the boron mixture by powder fractions after slag purification (blue columns) and a decrease in the boron content in silicon after etching in a mixture of hydrogen fluoride and nitric acid (red columns).

Рис. 3. Уровень концентрации примеси бора по фракциям порошка после шлаковой рафинации (синие столбцы) и уменьшение содержания бора в кремнии после травления в смеси фтористоводородной и азотной кислот (красные столбцы).

Алдын ала қожды тазартудан өткен металлургиялық кремнийді қышқылмен тазарту процесін оңтайландыру нәтижесінде 4-суретте көрсетілген қоспалар концентрациясының деңгейіне қол жеткізілді, егер алдын ала қожды тазарту сатысы болмаса, қоспалар деңгейі бірнеше рет жоғары болады және оны қайталап қышқылмен тазарту кезінде де азайту мүмкін емес.

Қорытынды

Тәжірибелерді талдау және қышқылмен тазалаудан кейінгі қоспа элементтерінің концентрациясы туралы мәліметтер негізінде маңызды қорытындылар төмендегідей. Біріншіден, металлургиялық кремнийді қожды тазартудың алдын ала сатысынсыз тазарту мүмкін емес немесе өте қиын, өйткені бұл кезеңде қоспалардың артық концентрациясы кремний фазасынан аталған тазарту кезінде пайда болған екінші фазаға қайта бөлінеді. Оксидтерден, фторидтерден, силицидтерден және т. б. тұратын екінші фаза кремнийдікінен өзгеше тығыздыққа ие және мақсатты өнімнен оңай бөлінуі мүмкін. Сонымен қатар кремний поликристалдарының шекарасында қоспаларды шоғырландыратын екінші фаза да түзіледі. Бұл жағдай кейіннен қышқылмен тиімді тазалауға мүмкіндік береді.

Алдын ала шлақтық тазартуға ұшыраған металлургиялық кремнийдің ұсақ фракциясы қоспалардың жоғары концентрациясын қамтиды, сондықтан олардың мақсатты өнімін салмағы бойынша шамамен 7% жоғалтумен алып тастауға болады. Қышқылды тазартудың бірінші кезеңінде қоспа элементтерінің концентрациясының айтарлықтай төмендеуі байқалғанымен, бір тазарту сатысы жеткіліксіз, бірақ екінші және үшінші кезеңде тазарту тиімділігін арттыру үшін қышқылдардың түрін өзгерту қажет. Тазарту-



Сурет 4. Шлақты тазартудан және қышқылмен сілтісіздендіруден кейінгі кремнийдің қоспалық құрамы.

Figure 4. Impurity composition of silicon after slag refining and acid leaching.

Рис. 4. Примесный состав кремния после проведения шлакового рафинирования и кислотного выщелачивания.

дың максималды тиімділігі металлургиялық кремнийдің 100–500 мкм фракциясында қол жеткізіледі. Жүргізілген жұмыстардың нәтижесінде негізгі қоспа элементтері үшін кремний ұнтағының жоғары тазалығына қол жеткізілді, алайда күн сапалы кремнийге қол жеткізу үшін бағытталған кристалданудың соңғы кезеңі қажет.

Алғыс

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті, ИРН № AP19677333 гранты қаржыландырады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Күн фотоэлектрлері тұрақты болашақты қуаттандыруға дайын / Виктория М. [және т. б.] // Джоуль. 2021. Т. 5. № 5. Б. 1041–1056 (ағылшын тілінде)
2. Жаңартылатын энергия көздерін жан-жақты зерттеу: жіктеулер, қиындықтар мен ұсыныстар / Анг Т.З. [және т. б.] // Энергия стратегиясының шолулары. 2022. № 43. Б. 100939 (ағылшын тілінде)
3. Күн деңгейіндегі поликристалды кремнийді өндірудің жаңа процестері: шолу / Брага А.Ф.Б. [және т. б.] // Күн энергиясының материалдары және күн батареялары. 2008. № 92. Б. 418–424 (ағылшын тілінде)
4. Чигондо Ф. Металлургиялық дәрежеден күн кремнийіне дейін: шолу // Кремний. 2018. Т. 10. Б. 789–798 (ағылшын тілінде)
5. Баснет Р., Макдональд Д. UMG-Si пластиналарындағы ақауларды азайту стратегияларына шолу // Фотоникадағы шекаралар. 2024. Т. 4. С. 1331471 (ағылшын тілінде)
6. Ли М., Дай Ю., Ма В., Ян Б., Чу К. Металлургиялық әдіспен кристалды кремнийлі күн батареяларының материалдарын дайындаудың жаңа технологиясына шолу // IOP конференциялар сериясы: жер және қоршаған орта туралы ғылым, IOP, 2017. Т. 94. № 1. Б. 012016 (ағылшын тілінде)
7. Немчинова Н.В., Зайцева А.А. Қоспалардан қышқылды тазарту арқылы металлургиялық кремнийдің сапасын жақсарту // АйПолитех Журнал. 2023. Т. 27. № 2. Б. 436–448 (орыс тілінде)
8. Кремний мен моносилан өндірудің қазақстандық технологияларын күн батареялары мен панельдерін өндірудің қолайлы әлемдік тәжірибелерімен интеграциялау / Серикканов А. [және т. б.] // Процестер. 2022. Т. 10. № 7. Б. 1303 (ағылшын тілінде)

9. Серикканов А. Кремнийді металлургиялық әдістермен тазарту мүмкіндігі: I бөлім / Серикканов А. [және т. б.] // Процестер. 2022. Т. 10. № 7. Б. 1353 (ағылшын тілінде)
10. Тазарту үшін қожды тазарту үшін металлургиялық кремнийді тазарту / Серикканов А.С. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2022. № 11. Б. 42 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future / Victoria M. [et al.] // Joule. 2021. V. 5. No. 5. 1041–1056 pp. (in English)
2. A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions / Ang T.Z. [et al.] // Energy Strategy Reviews. 2022. No. 43. 100939 p. (in English)
3. New processes for the production of solar-grade polycrystalline silicon: A review / Braga A.F.B. [et al.] // Solar Energy Materials and Solar Cells. 2008. No. 92. 418–424 pp. (in English)
4. Chigondo F. From Metallurgical-Grade to Solar-Grade Silicon: An Overview // Silicon. 2018. V. 10. 789–798 pp. (in English)
5. Basnet R., Macdonald D. A review of defect mitigation strategies for UMG-Si wafers // Frontiers in Photonics. 2024. V. 4. 1331471 p. (in English)
6. Li M., Dai Y., Ma W., Yang B., & Chu Q. Review of new technology for preparing crystalline Silicon solar cell materials by metallurgical method // IOP conference series: earth and environmental science, IOP, 2017. V. 94. No. 1. 012016 p. (in English)
7. Nemchinova N.V., Zaitseva A.A. Povyshenie kachestva metallurgicheskogo kremniya putem kislotnoi ochistki ot primesei [Improving the quality of metallurgical silicon by acid purification from impurities], AiPolitekh Zhurnal [iPolytech Journal]. 2023. V. 27. No. 2. 436–448 pp. (in Russian)
8. Integration of Kazakhstan technologies for silicon and monosilane production with the suitable world practices for the production of solar cells and panels / Serikkanov A. [et al.] // Processes. 2022. V. 10. No. 7. 1303 p. (in English)
9. The Possibility of Silicon Purification by Metallurgical Methods: Part I / Serikkanov A. [et al.] // Processes. 2022. V. 10. No. 7. 1353 p. (in English)
10. Metod shlakovogo rafinirovaniya dlya ochistki metallurgicheskogo kremniya [Method of slag refining for purification of metallurgical silicon], Serikkanov A.S. [et al.], Gornyi Zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2022. No. 11. 42 p. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Солнечная фотоэлектрика готова обеспечить устойчивое будущее / Виктория М. [и др.] // Джоуль. 2021. Т. 5. № 5. С. 1041–1056 (на английском языке)
2. Комплексное исследование возобновляемых источников энергии: классификации, проблемы и предложения / Анг Т.З. [и др.] // Обзоры энергетической стратегии. 2022. № 43. С. 100939 (на английском языке)
3. Новые технологии производства поликристаллического кремния солнечного качества: обзор / Брага А.Ф.Б. [и др.] // Материалы для солнечной энергетики и солнечные элементы. 2008. № 92. С. 418–424 (на английском языке)
4. Чигондо Ф. От металлургического кремния к солнечному: обзор // Кремний. 2018. Т. 10. С. 789–798 (на английском языке)
5. Баснет Р., Макдональд Д. Обзор стратегий устранения дефектов пластин UMG-Si // Рубежи в фотонике. 2024. Т. 4. С. 1331471 (на английском языке)
6. Ли М., Дай Ю., Ма В., Ян Б., Чу К. Обзор новой технологии получения материалов для солнечных элементов из кристаллического кремния металлургическим методом // Серия конференций IOP: наука о земле и окружающей среде, IOP, 2017. Т. 94. № 1. С. 012016 (на английском языке)
7. Немчинова Н. В., Зайцева А. А. Повышение качества металлургического кремния путем кислотной очистки от примесей // АйПолитех Журнал. 2023. Т. 27. № 2. С. 436–448 (на русском языке)
8. Интеграция казахстанских технологий производства кремния и моносилана с подходящими мировыми практиками производства солнечных элементов и панелей / Серикканов А. [и др.] // Процессы. 2022. Т. 10. № 7. С. 1303 (на английском языке)
9. Возможность очистки кремния металлургическими методами: часть I / Серикканов А. [и др.] // Процессы. 2022. Т. 10. № 7. С. 1353 (на английском языке)
10. Метод шлакового рафинирования для очистки металлургического кремния / Серикканов А.С. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2022. № 11. С. 42 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Серикканов А.С., физика-математика ғылымдарының кандидаты, «Физика-техникалық институты» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), a.serikkanov@sci.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6817-9586>

Турмагамбетов Т.С., Ph.D, «Физика-техникалық институты» ЖШС ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), tteleuzhan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8929-5519>

Тамендаров М.Ф., физика-математика ғылымдарының кандидаты, «Физика-техникалық институты» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), tamenदारov.m@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-4160-8047>

Кантарбаева Д.О., магистр, «Физика-техникалық институты» ЖШС кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), d.kantarbayeva@sci.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3891-8733>

Information about the authors:

Serikkanov A.S., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Physics and Technology LLP (Almaty, Kazakhstan)

Turmagambetov T.S., Ph.D, Researcher, Institute of Physics and Technology LLP (Almaty, Kazakhstan)

Tamenदारov M.F., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Physics and Technology LLP (Almaty, Kazakhstan)

Kantarbayeva D.O., Master's degree, Junior Researcher, Institute of Physics and Technology LLP (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Серикканов А.С., канд. физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ТОО «Физико-технический институт» (г. Алматы, Казахстан)

Турмагамбетов Т.С., Ph.D, научный сотрудник ТОО «Физико-технический институт» (г. Алматы, Казахстан)

Тамендаров М.Ф., канд. физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ТОО «Физико-технический институт» (г. Алматы, Казахстан)

Кантарбаева Д.О., магистр, мл. научный сотрудник ТОО «Физико-технический институт» (г. Алматы, Казахстан)

ДЕСЯТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

SEYMARTEC
DIGITALЧЕЛЯБИНСК
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»25–27
НОЯБРЯЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ
ОТРАСЛИ

seymartec.ru



+7 499 638-23-29



info@seymartec.ru

SSAB



Hardox® 500 Tuf — МОЩЬ И НАДЕЖНОСТЬ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Чем суровее условия эксплуатации, тем выше ценится износостойкая сталь Hardox® 500 Tuf, обеспечивающая непревзойденную защиту от износа и ударных нагрузок для вашего горнодобывающего оборудования. Hardox® 500 Tuf превосходит ожидания по производительности и сроку службы как в карьерах, так и в подземных шахтах.

2x

Продлите срок службы оборудования в 2 раза и более по сравнению со сталью AR400, сократите простои и затраты на обслуживание или ...

20%

...уменьшите массу конструкции на 20% и более, снижая расход топлива и выбросы CO₂.

100%

Доверьтесь гарантированным показателям плоскостности, толщины и гибкости, что делает процесс изготовления более предсказуемым и снижает количество отходов в производстве.



Отсканируйте QR-код, чтобы узнать, как Hardox® 500 Tuf повышает эффективность кузовов карьерных самосвалов.



hardox.com

HARDOX®
WEAR PLATE

Код МРНТИ 36.23.31:87.15.15

*Ы. Жакыпбек, А. Айдаркызы, Е.Е. Бегимжанова, С.Н. Мустапаева
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ТЕМІРТАУ ҚАЛАСЫНДАҒЫ ҚАЛДЫҚ ҮЙІНДІЛЕРІНІҢ КӨЛЕМІНІҢ ӨЗГЕРУІН ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ЛАСТАНУЫН БАҒАЛАУ

Андатпа. Теміртау қаласының өндірістің аймағының жыл санап өсуіне байланысты металлургиялық қалдық қоймаларының артуы қоршаған ортаға кері әсер етуде. Сондықтан аумақтың қалдық үйінділердің көлемінің өзгеруі мен қоршаған ортаның ластануын бағалау өте маңызды мәселеге айналып отыр. Ал мақалада 1985–2024 жылдар аралығындағы үйіндінің көлемінің өзгеруін талдауда LANDSAT 4,5,7 және 8 спутниктерінің суреттері пайдаланып, олардың көлемінің 2-3 есе артқандығы дәлелденді. Сонымен қатар Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдары топырақтың ластану дәрежесі бақыланып, оның мерзімдік салыстыру картасы қарастырылды. Сондай-ақ Қазақстан Республикасының ұлттық статистикалық деректері негізінде аурудың таралуы бойынша 2000 жыл және 2024 жылдар арасындағы салыстырмалы картасы ұсынылды.

Түйінді сөздер: Теміртау, қашықтықтан зондтау, өнеркәсіп, ластану, металлургия комбинаты, үйінді.

Assessment of changes in the volume of waste dumps and environmental pollution in Temirtau based on remote sensing data

Abstract. Due to the annual expansion of the production area in Temirtau, the increase in metallurgical waste storage facilities has had a negative impact on the environment. Therefore, assessing changes in the volume of waste dumps and the environmental pollution of the surrounding area has become a critical issue. This article used images from LANDSAT satellites 4, 5, 7, and 8 to analyze changes in the size of the waste dumps from 1985 to 2024, demonstrating that their area increased by 2–3 times. Additionally, based on Land Cover time series data, the degree of soil pollution was monitored in the years 1993, 2006, 2018, and 2023, and periodic comparison maps were produced. Furthermore, using national statistical data from the Republic of Kazakhstan, a comparative map showing the prevalence of diseases between 2000 and 2024 was presented.

Key words: Temirtau, remote sensing, industry, pollution, metallurgical plant, dump.

Оценка изменения объема отвалов отходов и загрязнения окружающей среды в городе Темиртау на основе данных дистанционного зондирования

Аннотация. В связи с ежегодным ростом производственной зоны города Темиртау увеличение объемов металлургических хвостохранилищ оказывает негативное влияние на окружающую среду. Поэтому оценка изменений объема отходов и уровня загрязнения территории становится особенно актуальной. В статье, на основе анализа спутниковых изображений LANDSAT 4, 5, 7 и 8 за период с 1985 по 2024 год, было доказано, что площадь отвалов увеличилась в 2–3 раза. Кроме того, с использованием данных Land Cover Time отслеживалась степень загрязнения почвы в 1993, 2006, 2018 и 2023 годах, а также была составлена периодическая сравнительная карта. Также, на основе национальных статистических данных Республики Казахстан представлена сравнительная карта распространенности заболеваний за период с 2000 по 2024 год.

Ключевые слова: Темиртау, дистанционное зондирование, промышленность, загрязнение, металлургический комбинат, отвал.

Кіріспе

Тау-кен өндірісі экологиялық ортада ландшафттың бұзылуы, өсімдіктердің жойылуы, ауыл шаруашылығы жерлерінің топырақ құнарлығының төмендеуі, металл бөлшектерінің жерге шөгуі, жер үсті, жер асты суларының, ауаның, топырақтың ластануы мен эрозиясы және қалдықтардың көптеп жиналуы сияқты көптеген проблемаларға алып келеді [1]. Сонымен қатар экономика жылдам қарқынмен дамуы мен минералдық ресурстарға деген сұраныс артуы жергілікті тұрғындардың денсаулығына және экологиялық ортаға кері әсер етуде [2]. Сондай ақ дүние жүзіндегі 29,000–35,000 белсенді, белсенді емес және қараусыз қалған қалдық қоймаларында (ТҚК) шамамен 223 миллиард тонна (534 миллиард текше метр) қалдықтар жинақталған¹. Ал жыл сайын әлемде пайдалы қазбаларды игеру үшін 80–90 миллиард тонна бос тау жыныстар мен 8 миллиард тонна (19 миллиард м³) қалдықтар қоймаланады [3]. Баркаренадағы (Пара штаты) боксит өндіруші компания шығарған улы тау-кен қалдықтарының ағуы салдары-

нан, бірнеше елді мекендерде 2 км төмен ағынға дейінгі ауыз суда қорғасынның, алюминийдің, натрийдің және басқа да токсиндермен жоғары деңгейде ластанғандығы анықталған². Сонымен қатар 1950 жылдардан бері қолдан алтын игеруде қалдықтарының төгілуіне байланысты Тапажос өзенінің суы сынаппен ластанған және лайланған³. Ал елімізде 2020 жылы 320,2 млн тонна қауіпсіз қалдықтар, 137,8 млн тонна қауіпті қалдықтар және 0,15 млн тонна радиоактивті қалдықтар түзілген⁴. Сондықтан тау-кен аймақтарындағы экологиялық өзгерістерді жылдам анықтап, мемлекеттік органдардың шешімдер қабылдауына қамтамасыз ету мақсатында үнемі бақылау өте маңызды мәселеге айналып отыр.

1973 жылдан бастап NASA жер ресурстарының спутниктерін Аппалач тау-кен өндірісі аймақтарында жердің пайдаланылуын, өсімдіктер жамылғысының өзгеруін және судың жиналуын бақылау үшін пайдаланудан бастап қашықтықтан зондтау бірте-бірте тау-кен аймақтарының экологиялық ортасын қадағалаудың маңызды құралына

¹Хвостохранилищелердің бүкіл әлем бойынша істен шығуы. World Mine Tailings Failures. URL: <https://worldminetailingsfailures.org/> (қаралған күні: 10.04.2025). Қолжетімділік режимі: ашық.

²Nathanson, M. Norsk Hydro Амазонияда улы төгіндіге қатысты айыпталып, «жасырын құбыр» барын мойындады. Mongabay, 2018. URL: <https://news.mongabay.com/2018/02/norsk-hydro-accused-of-amazon-toxic-spill-admits-clandestine-pipeline/> (қаралған күні: 10.04.2025). Қолжетімділік режимі: ашық.

³Hofmeister N.; Silva J.C.D. Өлі өзен: Бразилияда Шикрин тайпасына тиесілі Катете өзенін шахта ластап жатыр ма? The Guardian, 2018. URL: <https://www.theguardian.com/global-development/2018/may/15/brazil-xikrin-catete-river-amazon> (қаралған күні: 10.04.2025). Қолжетімділік режимі: ашық.

⁴Қазақстан Республикасындағы қоршаған ортаның жай-күйі туралы ақпараттық бюллетень. ҚР Экология және табиғи ресурстар министрлігі, 2023. URL: <https://ecogogsfond.kz/> (қаралған күні: 10.04.2025). Қолжетімділік режимі: ашық.

айналды. Мұнда тау-кен аймақтарының экологиялық жағдайын бақылау үшін көп уақыт пен еңбекті қажет ететін дәстүрлі әдістермен (мысалы, далалық зерттеулер) қатар қашықтықтан зондтауды қолдану тау-кен жұмыстарының басқару тиімділігін арттырып, тау-кен аумақтарын барлау мен экологиялық қалпына келтіруді бағалауды жеңілдетеді [4]. Сондықтан мақалада Теміртау қаласындағы қалдық үйінділердің көлемінің өзгеруі мен қоршаған ортаның ластануын бағалауда статистикалық және қашықтықтан зондтау деректері негізінде талдау жасалынды.

Әдістері мен материалдары

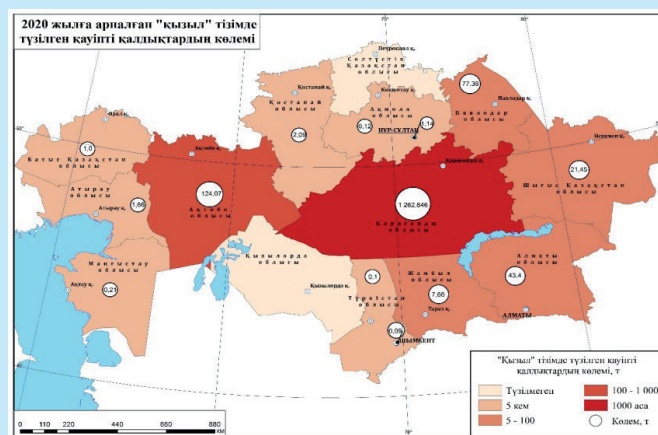
Қарағанды республиканың ең ірі өнеркәсіптік облыстарының бірі болып табылады да, техногендік ластануы жағынан өсуі жыл сайын артуда. Обылыс бойынша қоршаған ортаның ірі ластанушы көздері болып, көмір өнеркәсібі («АрселорМитталТеміртау» АҚ, «ШұбаркөлКөмір» АҚ), пайдалы қазбаларды өндіру («Қазақмыс» корпорациясы) ЖШС, «ЖәйремКБК» АҚ, «Нова-Цинк» ЖШС, «Қазхром» АҚ), жылу энергия орталығының қазандық қондырғылары («ҚарағандаЭнергоцентр» ЖШС (1-ЖЭО, 3-ЖЭО), құрылыс материалдарын өндіретін кәсіпорындар («ЦентралАзияЦемент» АҚ), жылу энергетика саласының («Қазақмыс Энерджи» ЖШС) және металлургия өнеркәсібі («Қазақмыс Смэлтинг» ЖШС, «Теміртау электр металлургиялық комбинаты» АҚ) сияқты кәсіпорындары жатқызылады. Сонымен қатар Қарағанды облысының аумағында құрамында хром бар шламдар және кокс-химия өндірісінің қалдықтары үйінділенген (қышқыл шайыр, фустар). уытты 2 полигоны орналасқан. Аталмыш объектілердің меншік иесі «Арселор Миттал Теміртау» АҚ болып табылады.

Қазақстан Республикасында қауіпті қалдықтарды трансшекаралық тасымалдауды бақылау және оларды тасымалдау, кәдеге жарату, сақтау және көму мақсаттары үшін жоюды бақылау туралы Базель конвенциясына сәйкес қалдықтар қауіптілігінің 3 деңгейі белгіленген: жасыл – G индексі, янтарлы – A индексі және қызыл – R индексі. Мұндағы «Қызыл» тізімдегі қалдықтарға полибромдалған дифенил, асбест, қорғасын қосылған антидотациялық қоспалардың шламдары, полихлорланған дибензодиоксинге ұқсас кез келген қосылыс және басқалар жатады. Ал «Янтарлы» тізімдегі қалдықтарға құрамында сынап, мышьяк, хром, қорғасын, мырыш, цианидтер, лак бояулары, пестицидтер, улы химикаттар, мұнай шламдары, өңделген бұрғылау шламы және басқалары бар қалдықтар жатқызылған. Сондай ақ «Жасыл» тізімдегі қалдықтарға хром, кадмий, алюминий, мыс, қорғасын, мырыш, марганец қалдықтары мен сынықтары, пластмасса, полиэтилен қалдықтары, пайдаланылған шиналар мен басқа да резеңке қалдықтар, күл мен күлшлактар қалдықтары және басқалары топтастырылған. Аталмыш осы үш ластанушы қалдықтар бойынша Қарағанды алғашқы үштікке енген (сурет 1).

Сондықтан зерттеу объектісі ретінде Қарағанды обылысындағы өндірістік кәсіпорындар жиі орналасқан өндірістік қала Теміртауды қарастырамыз. Мұнда металлургия зауыты мен оның қалдықтарының ауаға, топыраққа, суға және халықтың денсаулығына әсерін зерттеу мақсатында,

қашықтықтан зондтау, геоақпараттық талдау және экологиялық мониторинг әдістері қолданылды.

Жел эрозиясының нәтижесінде пайда болатын шлак қалдықтарының зиянды ингредиенттері едәуір аумақтарға тасымалданады, ал жер асты суларына ағып, өзендер мен бассейндерге түседі, судың сапасын төмендетіп, оны ауыл шаруашылығында пайдалану үшін қауіпті етеді. Көмір қалдықтарынан алынған ауыр металдар мен химиялық элементтер топыраққа біртіндеп еніп, оның құнарлылығын жоғалтады. Үйінділерден улы заттардың ағып кетуі жер асты сулары мен жақын маңдағы су объектілерінің ластануына әкеледі.



Сурет 1. 2020 жылғы «қызыл» тізімдегі қауіпті қалдықтардың көлемі.

Figure 1. Volume of hazardous wastes from the «red» list in 2020.

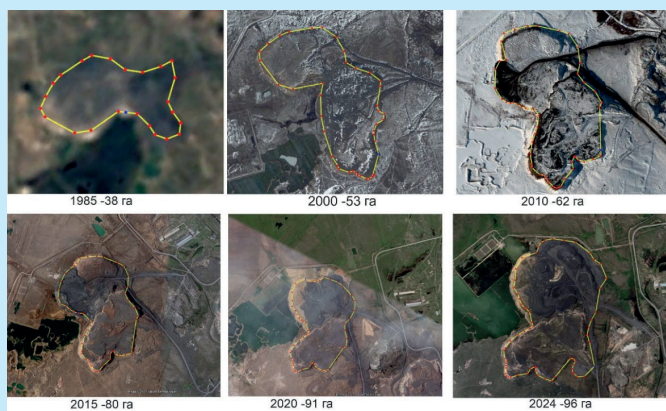
Рис. 1. Объем опасных отходов из «красного» списка за 2020 год.

Сондықтан қашықтықтан зондтау және спутниктік деректерді негізінде 1985, 2000, 2010, 2015, 2020, 2024 жылдар арасында көмір және темір рудасының қалдықтар үйіндісінің аумағының өзгеру және ластану деңгейін бағалау үшін Google Earth және USGS Earth Explorer сайтынан спутниктік суреттер алынып, ArcGIS бағдарламасында аудандарды есептеу мен кескіндеріне талдау жасалынып, өнеркәсіптік үйінділердің өзгеру динамикасы бақыланды.

Зерттеу нәтижелері мен талқылау

Қарағанды облысының аумағында құрамында хром бар шламдар және кокс-химия өндірісінің қалдықтары үйіндісін бақылауда қашықтықтан зондтау және спутниктік деректерді негізінде 1985, 2000, 2010, 2015, 2020, 2024 жылдар арасында қалдықтар үйіндісінің аумағының өзгеруін талдау (1-сурет) нәтижесінде 1985 ж. – 38 га, 2000 ж. – 53 га, 2010 ж. – 62 га, 2015 ж. – 80 га, 2020 ж. – 91 га және 2024 ж. – 96 га қалдықтар қоймаланған. Сонымен қатар спутниктік суреттерді талдау нәтижесіне сәйкес 1985–2024 жылдар аралығында үйінділерінің ауданы үш есеге жуық артқандығын көрсетті (сурет 2).

Техногендік үйінділердің шамадан тыс артуынан топырақтың ластануы өсімдіктерге тікелей әсер етеді, оның қолайсыз жағдайларға төзімділігін төмендетеді



Сурет 2. 1985 жылдан 2024 жылға дейін көмір үйінділері аймағының өзгеруі динамикасы.

Рис. 2. Динамика изменения площади угольных отвалов с 1985 по 2024 гг.

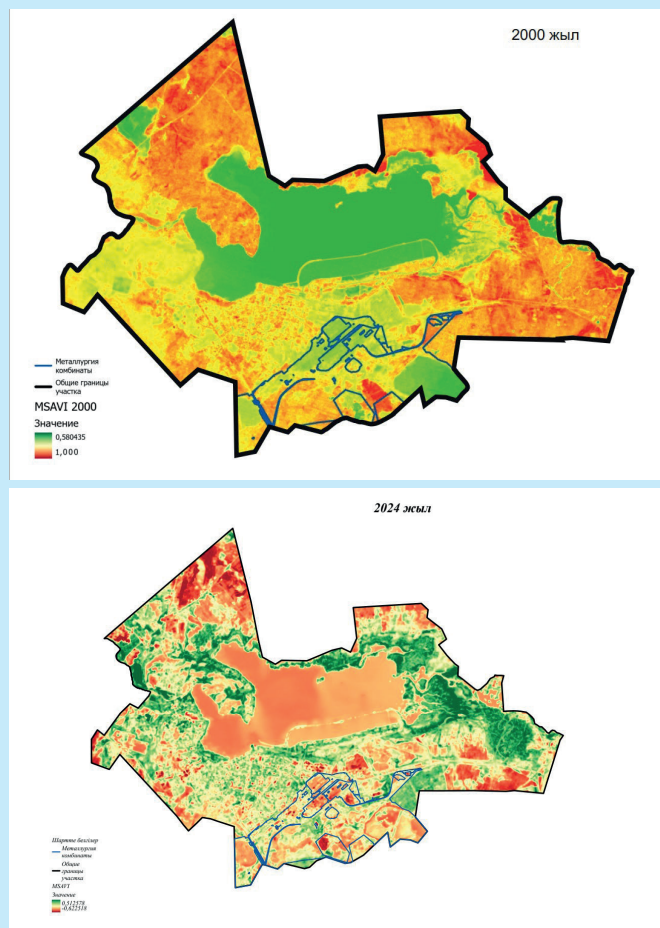
Figure 2. Dynamics of coal dump area changes from 1985 to 2024.

және биоәртүрлілікті шектейді. Топырақтағы органикалық көміртектің азаюы оның көміртекті сақтау қабілетін төмендетеді, бұл атмосфераға көмірқышқыл газының шығарылуын күшейтеді және климаттың өзгеруін күшейтеді [5, 6]. Сонымен қатар, топырақтың тозуы оның рекреациялық және экологиялық әлеуетінің төмендеуіне әкеп соғады, бұл Теміртау ауданындағы табиғи ортаны қалпына келтіру міндеттерін қиындатады. Нәтижесінде, органикалық қабатын MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) - өзгертілген түзетілген топырақ индексі арқылы 2000 ж. мен 2024 ж. аралығындағы айтарлықтай өзгерулерді көруге болады (сурет 3). Бұл индекс NDVI және WDI есептеу арқылы алынған реттеу коэффициентін пайдаланады. Бұл изовегетация сызықтарының бір нүктеде жақындаспауына әкеледі. 2000 жылмен салыстырғанда 2024 жылы MSAVI мәндерінің төмендеуі Теміртаудағы өсімдік жамылғысының айтарлықтай деградациясын растайды. NDVI диапазоны 0,5–1,0-ден 0,5–(-0,6) дейін өзгерді, бұл жасыл кеңістіктің айтарлықтай аудандарының жоғалуын көрсетеді. 2024 жылы NDVI (-0,6) теріс мәндерінің пайда болуы өсімдік жамылғысы жоқ аймақтардың – ең алдымен өнеркәсіптік және урбанизацияланған аумақтардың кеңеюін көрсетеді.

MSAVI-дің төмендеуі деградацияның тек тығыз өсімдіктерге ғана емес, дала қауымдастығына да әсер ететіндігін растайды. Бұл өзгерістер антропогендік әсер (өнеркәсіптік ластану, урбанизация) экожүйелердің қалпына келу қабілетін төмендету арқылы жағдайды нашарлатады.

Осылайша, өнеркәсіптік ластанудың аймақтың топырағына әсері жерді қалпына келтіру, жер жамылғысын қалпына келтіру технологияларын енгізу және қоршаған ортаға зиянды заттар шығарындыларын азайту бойынша шұғыл шараларды қажет етеді.

Топырақтың жақсаруы экожүйелерді қалпына келтіруге, экологиялық тәуекелдерді азайтуға және аймақтың антропогендік жүктемелерге төзімділігін арттыруға ықпал етуі мүмкін. Жоғарыдағы зерттеу нәтижесіне және



Сурет 3. MSAVI топырақ индексі өзгеруі картасы.

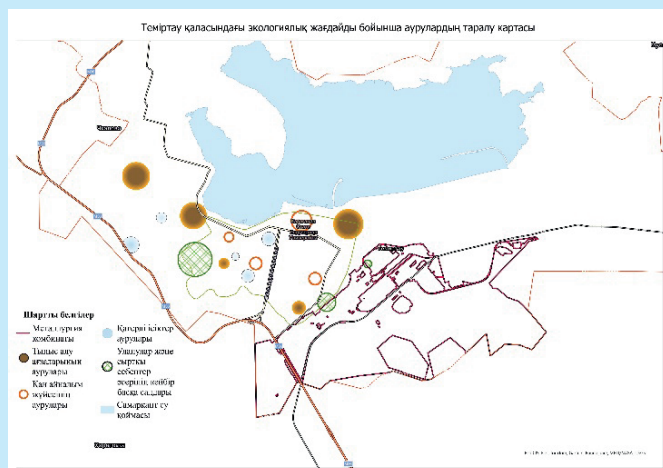
Figure 3. Map of soil index MSAVI changes.

Рис. 3. Карта изменения индекса почвы MSAVI.

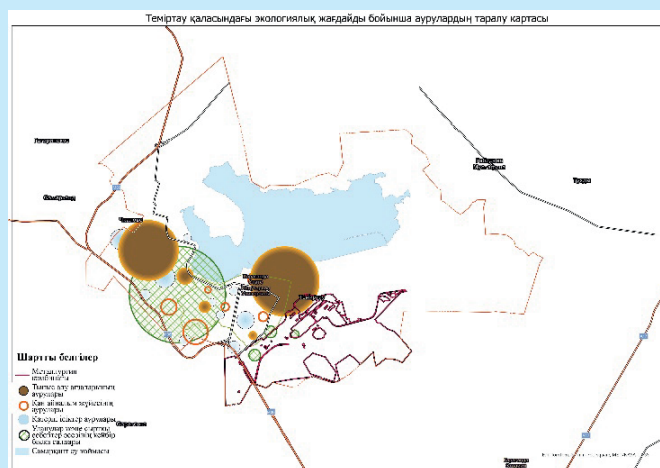
<https://stat.gov.kz/ru/> деректер негізінде келесі динамикалық карта жасалды. Ұсынылған карталар Теміртау қаласындағы экологиялық жағдайды және оның халық арасында аурудың таралуына әсерін көрсетеді. Екі картада металлургия зауытының әсер ету аймақтары, сондай-ақ тыныс алу жүйесі, жүрек-қан тамырлары аурулары, онкологиялық аурулар және улану жағдайлары көрсетілген. Карталар бірдей деректер көзін пайдаланады (сурет 4) бұл олардың сенімділігі мен ақпарат жинау әдістерінің сәйкестігін растайды.

Ұсынылған карталар Теміртау қаласындағы экологиялық жағдайды және оның әртүрлі уақыт кезеңдерінде халық арасында аурулардың таралуына әсерін көрсетеді. Бірінші карта 2000 жылы аурудың таралуын талдауды көрсетеді, ал екінші карта 2024 жылға арналған.

Карталарды салыстыру экологиялық жағдайдағы өзгерістерді және өнеркәсіптік ластанудың 24 жылдағы халықтың денсаулығына әсер ету динамикасын анықтауға мүмкіндік береді. 2000 жылғы картада аурушандық деңгейі жоғары аймақтар металлургия зауытына жақын жерде шоғырланған, бұл шығарындылар мен адамдардың денсаулық жағдайы арасындағы тікелей байланысты көрсетеді. 2024 жылғы Карта әсер ету аймақтарының кеңеюін көрсетеді, бұл қоршаған ортаның ластану ауқымының өсуін және қоршаған орта сапасының нашарлауын көрсетеді.



2000 жыл



2024 жыл

Сурет 4. Теміртау қаласындағы экологиялық жағдайдың әсерінен аурулардың таралу картасы.
Figure 4. Map of the distribution of diseases caused by environmental conditions in the city of Temirtau.

Рис. 4. Карта распространения заболеваний, обусловленных воздействием условий окружающей среды в городе Темиртау.

теді. 2024 жылғы картада жүрек-қан тамырлары аурулары мен онкологиялық аурулардың таралуы байқалатын аудандар санының көбеюі байқалады, бұл зиянды факторлардың ұзақ мерзімді әсерінің жинақталуына байланысты болуы мүмкін.

Карталар арасындағы негізгі айырмашылықтар мәселелердің ауқымы мен қарқындылығында. 2000 жылғы Карта негізінен өнеркәсіптік аймаққа жақын локализацияланған әсерді көрсетеді, ал 2024 жылғы карта зардап шеккен аумақтардың аумағының ұлғаюын және экологиялық жағдайдың нашарлауына және ластанудың жинақтаушы әсеріне байланысты болуы мүмкін жаңа сырқаттану ошақтарының пайда болуын көрсетеді.

Бұл салыстырмалы талдау Теміртау қаласында экологиялық бақылауды күшейту және экологиялық жағдайды жақсарту жөніндегі шараларды енгізу қажеттігін атап көрсетеді. 2000 жылмен салыстырғанда 2024 жылы Халық денсаулығы көрсеткіштерінің нашарлауы өндірісті жаңғыртуды, шығарындыларды азайтуды және ластануды бақылау жүйесін жақсартуды қоса алғанда, шұғыл шараларды талап етеді. Бұл карталар экологиялық динамиканы бағалаудың және халықтың денсаулығына зиянды әсерді азайту жөніндегі шараларды жоспарлаудың маңызды құралы болып табылады.

Ауыр металдардың ластануы сонымен қатар топырақты ауыл шаруашылығына жарамсыз етеді. Кенді үйінділер топырақтың деградациясына, оның құнарлылығының төмендеуіне және химиялық құрамының өзгеруіне әкеледі.

Қорытынды

Қорытындылай келе, Теміртау қаласы топырағының жай-күйін, өнеркәсіптік қалдықтардың ұлғаю ди-

намикасын және аурулардың таралуын талдау соңғы онжылдықтардағы экологиялық жағдайдың айтарлықтай нашарлағанын көрсетті. SoilGrids платформасынан алынған деректер арқылы топырақтың деградациясы, олардың құнарлылығының төмендеуі және ауыр металдар сияқты улы заттардың жиналуы байқалды. Спутниктік деректерді салыстыру негізінде көмір мен кен үйінділерінің алып жатқан аумағы 1985 ж. – 38 га, 2000 ж. – 53 га, 2010 ж. – 62 га, 2015 ж. – 80 га, 2020 ж. – 91 га және 2024 ж. – 96 га-ға дейін өсу динамикасы байқалып, қоршаған орта ластануының артқандығы анықталды.

2000 және 2024 жылдардағы аурулардың таралу карталарын салыстыру барысында тыныс алу және жүрек-қан тамырлары ауруларының, сондай-ақ онкологиялық аурулардың жиілігінің өсуі байқалды. 2000 жылы аурулардың ең көп шоғырлануы металлургия зауытының жанында ғана болса, 2024 жылға қарай ластану ауқымы кеңейіп, жаңа аудандарды қамтыды. Бұл топырақ пен суда ластанушы заттардың және өнеркәсіптік қалдықтардың жиналуы адамдардың денсаулығына теріс әсер ететінін растайды.

Проблемалық аймақтарды уақтылы анықтау және оларды жою бойынша шаралар қабылдау үшін спутниктік деректер мен ГАЗ талдауын пайдалана отырып, қоршаған ортаның жай-күйін бақылауды күшейту аймақтың экологиясы үшін өте маңызды.

Алғыс

Бұл мақала BR21881939 «Тау-кен металлургия кешені үшін ресурс үнемдейтін энергия өндіруші технологияларды әзірлеу және инновациялық-инжинирингтік орталық құру» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы бойынша орындалды.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Топырақтағы сынап формалары, олардың түрленуі мен тасымалдануы, атмосфералық ағын және тәуекелдерді басқару салдарлары: шолулық мақала / O'Connor D. [және т. б.] // *Environmental International*. 2019. Т. 126. Б. 747–761 (ағылшын тілінде)
2. Экологиялық сыйымдылықты зерттеу барысы: мәні, бағалау әдістері және өзекті бағыттар / Xue Q. [және т. б.] // *Journal of Resources and Ecology*. 2017. № 8. Б. 514–525 (ағылшын тілінде)
3. Тау-кен өндірісі аймақтарында экологиялық ортаны қашықтықтан зондау арқылы бақылау зерттеулерінің дамуы Wen Song [және т. б.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. № 17 (6). Б. 1846 (ағылшын тілінде)
4. Saedpanah S., Amanollahi J. Батыс Ирандағы Корове тау-кен аймағының экологиялық ластануы мен геоэкологиялық тәуекелді бағалау // *Environmental Pollution*. 2019. Т. 253. Б. 811–820 (ағылшын тілінде)
5. Гетце К., Бейер Ф., Глэссер К. Аэровизуалды гиперспектралды деректерді пайдалану арқылы тастанды шахталардағы геохимиялық параметрлердің индикаторы ретінде пионерлік өсімдіктер // *Environmental Earth Sciences*. 2016. Т. 75. Б. 613 (ағылшын тілінде)
6. He L., Lv J., He P., Hu Q., Liu W. (2024 жылғы 7 маусым). Қашықтықтан зондау деректері негізінде көмірқышқыл газының шығарындылары мен ауаның ластануы Арасындағы Синергетикалық әсерлерді талдау: Орталық Хэнань агломерациясының жағдайлық зерттеуі. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/12/4919> (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. *Forms of mercury, transformation and transport in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review* / O'Connor D. [et al.] // *Environmental International*. 2019. V. 126. 747–761 pp. (in English)
2. *Progress in ecological carrying capacity research: Meaning, evaluation methods and current directions* / Xue Q. [et al.] // *Journal of Resources and Ecology*. 2017. No. 8. 514–525 pp. (in English)
3. *Progress in remote sensing for monitoring the ecological environment in mining areas* / Wen Song [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. No. 17 (6). 1846 p. (in English)
4. Saedpanah S., Amanollahi J. *Environmental pollution and geo-environmental risk assessment of the Korveh mining area in western Iran* // *Environmental Pollution*. 2019. V. 253. 811–820 pp. (in English)
5. Goetze K., Beyer F., Glasser K. *Pioneer vegetation as an indicator of geochemical parameters on abandoned mines using airborne hyperspectral data* // *Environmental Earth Sciences*. 2016. V. 75. 613 p. (in English)
6. He L., Lv J., He P., Hu Q., Liu W. (June 7, 2024). *Analysis of Synergistic effects analysis between carbon emissions and air pollution based on remote sensing data: A case study of Central Henan agglomeration*. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/12/4919> (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Формы ртути, их преобразование и транспортировка в почвах, атмосферный поток и последствия для управления рисками: критический обзор* / O'Connor D. [и др.] // *Environmental International*. 2019. Т. 126. С. 747–761 (на английском языке)
2. *Прогресс в исследовании экологической емкости: значение, методы оценки и актуальные направления* / Xue Q. [и др.] // *Journal of Resources and Ecology*. 2017. № 8. С. 514–525 (на английском языке)
3. *Прогресс в дистанционном зондировании для мониторинга экологической среды в горнодобывающих районах* / Wen Song [и др.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. № 17 (6). С. 1846 (на английском языке)
4. Saedpanah S., Amanollahi J. *Экологическое загрязнение и оценка геоэкологического риска горнодобывающего района Корове в Западном Иране* // *Environmental Pollution*. 2019. Т. 253. С. 811–820 (на английском языке)
5. Гетце К., Бейер Ф., Глэссер К. *Пионерная растительность как индикатор геохимических параметров на заброшенных шахтах с использованием гиперспектральных данных воздушного зондирования* // *Environmental Earth Sciences*. 2016. Т. 75. С. 613 (на английском языке)
6. He L., Lv J., He P., Hu Q., Liu W. (7 июня 2024 г.). *Анализ синергетических эффектов между выбросами углекислого газа и загрязнением воздуха на основе данных дистанционного зондирования: на примере Центральной агломерации Хэнань*. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/12/4919> (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Жакыпбек Ы., Ph.D, Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), y.zhakypbek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-2474-9927>

Айдарқызы А., Ө.А. Байқоңыров атындағы, Тау кен металлургия институты, маркшейдерлік іс және геодезия кафедрасы магистранты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), Azhokaax@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-5577-3486>

Бегімжанова Е., к.ғ.м., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторанты. Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), 20089527@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2833-5622>

Кезембаева Г.Б., DBA, «Химиялық процесстер және өндірістік экология» кафедрасының аға оқытушысы, Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), g.kezembayeveva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-2298-2987>

Information about the authors:

Zhakypbek Y., Ph.D, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Aidarkyzy A., Master's student of the Department of Surveying and Geodesy, O.A. Baikonurov Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Begimzhanova Ye., M.Sc., doctoral student of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kezembayeva G., DBA, Senior Lecturer of the Department Chemical processes and industrial ecology Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Жакыпбек Ы., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Айдарқызы А., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Бегимжанова Е.Е., м.к.н., докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Кезембаева Г.Б., DBA, старший преподаватель кафедры «Химические процессы и промышленная экология», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

XXXIV Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ
РОССИИ 2026

XI Международная специализированная выставка

НЕДРА РОССИИ

XVI Международная специализированная выставка

**ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА
И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

VII Специализированная выставка

ПРОМТЕХЭКСПО



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Выставочный комплекс «Кузбасская ярмарка»,
ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк,
т: 8 (800) 500-40-42

**ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС!
ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!**





2025
РОССИЯ

21–Й ГОРНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА МАЙНЕКС РОССИЯ МАРАФОН ВОЗМОЖНОСТЕЙ

8 - 9 октября 2025 года,
Москва, Рэдиссон Славянская

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ



minexrussia.ru

Код МРНТИ 53.37.33

Е.Е. Жолдасбай¹, М.Б. Курмансейтов², А.А. Аргын¹, *Н.К. Досмухамедов²
¹Жезказганский университет им. О.А. Байконурова (г. Жезказган, Казахстан),
²Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХЛОРИРУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ Е-ЛОМА

Аннотация. На основании ранее полученных положительных результатов по переработке Е-лома (компьютерных плат) проведена оценка экономической эффективности хлорирующей технологии. Установлено, что при переработке 365 т электронного лома в год, экономический эффект составляет 7 448 560,85 \$. Срок окупаемости технологии – 7 месяцев. Анализ чувствительности подтвердил устойчивость экономических показателей технологии к колебаниям ключевых параметров, таких как стоимость сырья, цена готовой продукции и объемы производства. Как показали расчеты, даже при заложенных неблагоприятных сценариях, когда эти параметры ухудшались на 10–15%, технология оставалась прибыльной и сохраняла свою инвестиционную привлекательность. Это указывает на надежность и жизнеспособность технологии хлорирования в различных рыночных условиях и свидетельствует о том, что инвестиции в данную технологию очень прибыльны и привлекательны для инвесторов.

Ключевые слова: Е-лом, компьютерные платы, переработка, хлорирующая технология, извлечение, золота, экономическая эффективность.

Сыныктарды өңдеуге арналған хлорлау технологиясының экономикалық тиімділігін бағалау

Анатпа. Е-сыныктарды (компьютерлік тақталарды) қайта өңдеу бойынша бұрын алынған оң нәтижелердің негізінде хлорлау технологиясының экономикалық тиімділігіне бағалау жүргізілді. Жылына 365 тонна электронды сыныктарды өңдеу кезінде экономикалық тиімділік 7 448 560,85 \$ болатындығы анықталды. Технологияның өтелу мерзімі – 7 ай. Сезімталдықты талдау технологияның экономикалық көрсеткіштерінің шикізат құны, дайын өнімнің бағасы және өндіріс көлемі сияқты негізгі параметрлердің ауытқуына тұрақтылығын растады. Есептеулер көрсеткендей, тіпті қолайсыз сценарийлер болса да, бұл параметрлер 10–15% нашарлаған кезде, технология тиімді болып қала берді және өзінің инвестициялық тартымдылығын сақтап қалды. Бұл әртүрлі нарықтық жағдайларда хлорлау технологиясының сенімділігі мен өміршеңдігін көрсетеді және осы технологияға инвесторлар үшін инвестициялау өте тиімді және тартымды екенін көрсетеді.

Түйінді сөздер: Е-сынық, компьютерлік тақта, қайта өңдеу, хлорлау технологиясы, экстракция, алтын, экономикалық тиімділік.

Assessment of the economic efficiency of chlorinating technology for scrap recycling

Abstract. Based on the previously obtained positive results on the processing of E-scrap (computer boards), an assessment of the economic efficiency of chlorination technology was carried out. It has been established that when processing 365 tons of electronic scrap per year, the economic effect is 7 448 560,85 \$. The payback period of the technology is 7 months. The sensitivity analysis confirmed the resilience of the technology's economic indicators to fluctuations in key parameters such as the cost of raw materials, the price of finished products, and production volumes. Calculations have shown that even under adverse scenarios, when these parameters deteriorated by 10–15%, the technology remained profitable and maintained its investment attractiveness. This indicates the reliability and viability of chlorination technology in various market conditions and indicates that investments in this technology are very profitable and attractive to investors.

Key words: E-scrap, computer board, recycling, chlorination technology, extraction, gold, economic efficiency.

Введение

Разработка и внедрение технологий для переработки вторичного сырья является важным и перспективным подходом, направленным на экономию природных ресурсов и сокращение издержек, связанных с получением ценных товарных металлов с высокой добавленной стоимостью. Данная тенденция приобретает все большую популярность в странах Европы, испытывающих дефицит первичного сырья, что вполне объяснимо. Ухудшение экологической обстановки в мире привело к пересмотру технологий производства цветных и драгоценных металлов в развитых странах и переориентации на переработку вторичного сырья, а также к внедрению новых, экологически чистых технологий [1, 2].

Особый интерес вызывает переработка отходов электронного и электротехнического оборудования, известных как электронные отходы (Е-отходы). Увеличение объемов образования и накопления Е-отходов и их последующая переработка стали привлекательными, в частности, с точки зрения извлечения драгоценных металлов [1, 2, 3].

Широко распространенный метод утилизации Е-отходов – прямое сжигание с целью извлечения ценных металлов после сгорания пластика, что представляет серьезную угрозу для окружающей среды. Примитивные способы утилизации, такие как сжигание кабелей для извлечения меди, подвергают людей воздействию опасных веществ. В процессе горения в атмосферу выделяются токсичные вещества, такие как фенолы, бензолы, а также соединения меди, кадмия, свинца и мышьяка [4, 5]. Зола, образующая-

ся после сжигания отслужившей техники, также является токсичной [6].

Одним из перспективных направлений переработки Е-отходов являются хлорирующие технологии, обеспечивающие селективное извлечение ценных металлов и высокую степень экологичности процесса [7]. В научной литературе содержатся лишь отрывочные сведения о высокотемпературном хлорировании металлов и их соединений из различного вида сырья [8, 9, 10]. При этом вопросы распределения металлов между продуктами, образующимися при низкотемпературном хлорировании, остаются практически неизученными.

Данные о применении хлорирующих технологий для переработки Е-отходов практически отсутствуют, хотя их объединение с уже имеющимися результатами могло бы сформировать фундаментальную основу для разработки новых хлорирующих технологий комплексного извлечения ценных металлов из Е-отходов.

Большой объем исследований по разработке и созданию технологии для переработки Е-отходов, применительно к условиям Казахстана, проведен в работах [11, 12], где научно обоснованы теоретические положения технологии с использованием газообразного хлора. В результате исследований авторами доказана высокая эффективность технологии, обеспечивающая комплексное селективное извлечение драгоценных и цветных металлов в товарные продукты из компьютерных плат, вышедших из пользования. Уникальность технологии заключается в том, что, в отличие от всех существующих технологий, золото вы-

деляется в начальной стадии путем низкотемпературного хлорирующего обжига в целевой продукт – сублимат $AuCl_3$, из которого в дальнейшем без особых усилий и затрат при плавке, извлекается чистое золото. Полученный после обжига огарок, с высокой концентрацией в нем Cu , Ag , Pd и других ценных металлов легко доводится до получения чистых металлов путем плавки известными способами. Все операции, составляющие ядро технологии, проводятся при минимальных затратах реагентов, что позволяет гибко регулировать технологические параметры каждого процесса в зависимости от состава и типа Е-отходов.

Разработанный авторами новый подход к построению технологии, с одной стороны, исключает необходимость сложных и высокочрезвычайных операций производства золота (рафинирование и др.) и позволяет комплексно извлекать цветные и другие ценные металлы из дополнительного источника сырья, являющегося опасным отходом. С другой стороны, технология позволяет расширить ассортимент высоколиквидных товарных металлов с высокой добавленной стоимостью.

С экологической точки зрения технология обеспечивает минимальный выброс вредных веществ в окружающую среду. Используемый при хлорирующем обжиге хлор является оборотным и используется вторично при обжиге.

Ключевым аспектом технологии, требующим особого внимания, является выход большого количества огарка после хлорирующего обжига. Результаты элементного и фазового составов остатка показали наличия в нем, в основном, хлоридов меди, железа и аморфной фазы, представляющей собой набор пластмассы, керамики и др. токсичных веществ, присутствующих в составе исходных Е-отходов [11, 12]. При низкотемпературном хлорирующем обжиге термической деструкции аморфной фазы практически не происходит, и они полностью остаются в остатке. Кроме того, при обжиге не достигается сегрегации вредных металлов из их соединений (оксиды, интерметаллиды и др.), которые, оставаясь в остатке, при дальнейшей переработке будут влиять на качество получаемых металлов и увеличивать затраты на их получение.

Однако, наблюдаемые недостатки не являются критичными и не оказывают существенного влияния на технологические показатели общей технологии. По технологии предусмотрено полное сжигание неметаллической аморфной части Е-отходов при высокотемпературной плавке огарка, с дальнейшим улавливанием и обезвреживанием получаемых при этом токсичных соединений. Также, ввиду незначительных содержаний вредных металлов-примесей (As , Sb , Sn , Cd , Pb и др.) в полученном после обжига огарке, их влияние на качество получаемых металлов практически сводится к минимуму. Изложенные положения полностью подтверждены результатами ранее выполненных исследований.

Разработанная технология позволяет получать чистые товарные продукты, такие как металлическое золото и катодная медь марки МОК.

Основываясь на инженерных решениях, внедренных в процесс организации и создания производства по переработке электронных отходов, а также учитывая поло-

жительные результаты исследований, в настоящей работе проведена предварительная оценка экономической целесообразности разработанной технологии.

Материалы и методы исследования

Расчет экономической эффективности проведен на удельную производительность переработки электронного лома (компьютерные платы) 1 т/сутки.

В качестве исходных данных использовались результаты лабораторных и пилотных испытаний технологии хлорирования, позволяющие оценить выход целевых продуктов и расход реагентов, включающие:

Содержание золота в ломе 0,031%;

Содержание меди в ломе 13,5%;

Сквозное извлечение золота в товарный продукт 97%;

Сквозное извлечение меди в товарный продукт 98%;

Стоимость тр. унции золота – 2157 \$ США (Цена на LME на 06.06.25 г.);

Стоимость 1 т меди марки МОК – 8403 \$ США (Цена на LME на 06.06.25 г.).

Необходимо отметить, что результаты оценки носят предварительный характер и требуют уточнения на основе более детальных данных. В частности, необходимо провести более точную оценку рыночной стоимости полученных товарных продуктов, а также учесть возможные риски, связанные с колебаниями цен на сырье и энергоносители. Кроме того, необходимо провести анализ чувствительности, чтобы оценить влияние различных факторов на экономическую эффективность проекта.

Результаты расчетов экономической эффективности технологии

Доходы от реализации золота и меди, полученные от переработки 1 т электронного лома, без учета затрат, рассчитываются по формуле:

$$A_{Me} = G_{лом} * Me_{Исх} * \varepsilon_{Me} * Ц, \quad (1)$$

где:

$G_{лом}$ – количество лома, т;

$Me_{Исх}$ – содержание золота, меди в ломе, %;

ε_{Me} – сквозное извлечение металлов, %;

$Ц$ – стоимость 1 т меди и 1 тр. унции золота на LME.

Общий доход от реализации золота (A_{Au}) и меди (A_{Cu}), полученный от переработки 1 т лома, составит:

$$A_{Au} + A_{Cu} = \left(1000 \text{ кг} * 0,00031 * 97 * \frac{2157}{31} \right) + \\ + (1 * 0,135 * 0,98 * 8403) = 20922,29 + \\ + 1111,71 = 22034,00 \text{ \$ США в сутки.} \quad (2)$$

Годовой доход (D) от переработки 365 т Е-лома составит:

$$D = 22034,00 * 365 = 8042632,50 \text{ \$ США.} \quad (3)$$

Выводы

1. Согласно технологической схеме основу матрицы твердой фазы – огарка, полученного после извлечения золота хлорирующим обжигом, составляет медь. Для извле-

чения меди в виде товарной катодной меди марки МОК огарок направляется на конвертирование с дальнейшим проведением операций огневого рафинирования и электролиза.

Себестоимость переработки 1 т огарка рассчитана с учетом себестоимости товарной катодной меди марки МОК, полученной от переработки в цепи «конвертирование – огневое рафинирование – электролиз». По заводским данным себестоимость 1 т меди (C_{Cu}) составляет ~850 \$ США. Тогда, годовая себестоимость переработки 364 т огарка ($C_{Перераб}$), с учетом количества меди в нем ($G_{Лом}^{Cu}$), составит:

$$C_{Перераб} = C_{Cu} * G_{Лом}^{Cu} = 364 * 850 = 309400 \text{ \$ США.} \quad (4)$$

2. Общий расход электроэнергии (А) на переработку лома складывается из расходов на проведение операции обжига (А1) и плавки для получения чистого золота (А2), которые принимаем по данным практики:

– на хлорирующий обжиг 1 т лома для получения сублимата золота, А1 = 485 кВт;

– на плавку 1 т сублимата для получения чистого золота, А2 = 404 кВт.

С учетом принятых данных расход электроэнергии на обжиг ($C_{Обжиг}$) и плавку ($G_{Субл}$) рассчитывали по формулам:

$$C_{Обжиг} = A1 * G_{Лом}; \quad (5)$$

$$C_{Плавка} = A2 * G_{Субл}; \quad (6)$$

где:

$A1, A2$ – расходы электроэнергии, кВт*ч, затрачиваемые на обжиг и плавку, соответственно;

$G_{Лом}$ – количество исходного лома, т;

$G_{Субл}$ – количество сублимата золота ($AuCl_3$).

Общий расход электроэнергии (А) на переработку 365 т лома в год составит:

$$C_{Обжиг} + C_{Плавка} = (485 * 365) + (404 * 1,7) = 177711,8 \text{ \$ США.} \quad (7)$$

3. Годовой расход хлора (C_{Cl}) на переработку 365 т лома в год с учетом стоимости 1 м³ газообразного хлора (F_{Cl}) и годового расхода хлора, G_{Cl} = 14,78 м³, рассчитывали по формуле:

$$C_{Cl} = F_{Cl} * G_{Cl} = 1310 * 14,78 = 19360 \text{ \$ США.} \quad (8)$$

4. Затраты на предварительную подготовку 1 т лома к переработке (разделение пластмассы от металлической части лома, сортировка и др.) по заводским данным составляют – 240 \$ США. Тогда, ежегодные затраты на подготовку лома составят:

$$240 \$ * 365 = 87600 \text{ \$ США.} \quad (9)$$

5. Общие затраты ($B_{Расходы}$) на переработку 365 т лома в год:

$$B_{Расходы} = (1 + 2 + 3 + 4) = 309400 + 177711,8 + 19360 + 87600 = 594071,8 \text{ \$ США.} \quad (10)$$

Годовой экономический эффект от внедрения технологии:

$$(A_{Au} + A_{Cu}) - B_{Расходы} = 8042632,65 - 594071,8 = 7448560,85 \text{ \$ США.} \quad (11)$$

Срок окупаемости (PP) без учета расходов на основное оборудование составит:

$$PP = \left(\frac{B_{Расходы}}{Д} \right) * 100 = \left(\frac{594071,8}{8042632,65} \right) * 100 = 7,39 \approx 7 \text{ мес.} \quad (12)$$

Установленная экономическая эффективность достигается за счет комплексного извлечения ценных металлов из Е-лома в товарные продукты. Технология предполагает использование экологически безопасных методов переработки, минимизирующих эмиссию токсичных веществ в окружающую среду.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой рентабельности предложенной технологии и ее потенциале для промышленного внедрения. Дальнейшие исследования и оптимизация технологического процесса позволят увеличить удельную производительность и повысить экономическую эффективность.

Предварительные результаты анализа рыночной конъюнктуры указывают на стабильный спрос на извлеченные металлы, что обеспечивает устойчивое развитие экономической модели.

Окончательный расчет экономической эффективности будет проведен при внедрении технологии, применительно к действующим заводам цветной металлургии и к конкретным условиям. В настоящее время большой интерес к технологии проявлен со стороны Балхашского медеплавильного завода (БМЗ) ТОО «Корпорация «Казахмыс».

Технология легко интегрируется к существующей технологической схеме получения меди и аффинажного производства. Проведенные нами детальные экономические расчеты с учетом капитальных затрат на строительство и запуск производства, операционных издержек, включая стоимость реагентов, электроэнергии, а также расходы на оплату труда персонала и утилизацию отходов применительно к условиям БМЗ, показывают большие перспективы для завода (данные и результаты расчетов конфиденциальные и не подлежат к публикации в открытой печати).

Проведенные расчеты экономической эффективности базировались на использовании метода дисконтированных денежных потоков (DCF), который позволяет учитывать временную стоимость денег. В качестве основных показателей рассматривались чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR) и срок окупаемости технологии (Payback Period).

Результаты оценки показали, что разработанная технология для переработки Е-отходов с использованием низкотемпературного хлорирующего обжига, имеет потенциал для экономической целесообразности. По результатам расчетов значение NPV положительное, IRR превысила требуемую ставку доходности, а срок окупаемости находится в приемлемом диапазоне и составляет 7 месяцев.

Дальнейший анализ чувствительности подтвердил устойчивость экономических показателей технологии к колебаниям ключевых параметров, таких как стоимость сырья, цена готовой продукции и объемы производства. Как показали расчеты, даже при заложенных неблагоприятных сценариях, когда эти параметры ухудшались на 10–15%, технология оставалась прибыльной и сохраняла свою инвестиционную привлекательность. Это указывает на надежность и жизнеспособность технологии хлорирования в различных рыночных условиях и свидетельствует о том, что инвестиции в данную технологию очень прибыльны и привлекательны для инвесторов.

Выводы

Внедрение разработанной технологии переработки Е-отходов путем хлорирования газообразным хлором, помимо экономических выгод, создает ряд дополнительных преимуществ. Во-первых, это повышение экологической безопасности производства за счет снижения выбросов вредных веществ и более эффективного использования сырья. Во-вторых, это возможность создания новых рабочих мест и стимулирование развития смежных отраслей. В-третьих, это укрепление позиций компании на рынке за счет внедрения инновационных технологий и повышения конкурентоспособности продукции.

С учетом всех этих факторов можно сделать вывод о том, что разработанная технология хлорирования представляет собой перспективное направление для инвестиций. Она обладает высоким экономическим потенциалом, устойчива к колебаниям рыночной конъюнктуры и способствует повышению экологической безопасности производства.

Для успешной реализации технологии в настоящее время проводится детальная разработка бизнес-плана, включающего в себя оценку рисков, разработку стратегии маркетинга и организацию производства. Однако, учитывая полученные результаты, можно с уверенностью утверждать, что инвестиции в данную технологию будут оправданы и принесут существенную прибыль.

Финансирование

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023–2025 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология» проекта AP19576638 «Разработка инновационной технологии утилизации накопленных отходов Е-лома с получением чистого золота и цветных металлов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глобальный мониторинг электронных отходов, 2017 год. / Балде К.П. [и др.]. Бонн/Женева/Вена: Университет Организации Объединенных Наций (УООН), Международная ассоциация по твердым отходам (МАТО), 2017. 26 с. (на русском языке)
2. Gadekar J. Извлечение золота и других драгоценных металлов из электронных отходов // Международный журнал фармазии и фармацевтических исследований. 2017. № 1. С. 24–34 (на английском языке)
3. Nagelken C., Corti C. Переработка золота, используемого в электронике: экономически эффективное использование благодаря разработкам в области переработки // Золотой бюллетень. 2010. № 43 (3). С. 209–220 (на английском языке)
4. Kaya M. Извлечение металлов из электронных отходов с помощью физических и химических процессов вторичной переработки // Международный журнал химической и молекулярной инженерии. 2016. № 10 (2). С. 259–270 (на английском языке)
5. Al Balushi M., Kaithari D.K. Извлечение золота из электронных отходов // Международный журнал студенческих исследований в области технологий и менеджмента. 2016. № 4 (3). С. 44–48 (на английском языке)
6. Химическое загрязнение на объектах переработки и захоронения электронных отходов в Аккре и Корфоридуа, Гана / Brigden K. [и др.] // Техническая записка исследовательских лабораторий Гринпис. 2008. 23 с. (на английском языке)
7. Глинозем и диоксид кремния, получаемые хлорированием при обработке летучей золы электростанций / Dosmukhamedov N. [и др.] // ЖОМ. 2020. № 72 (10). С. 3348–3357 (на английском языке)
8. Влияние pH на выщелачивание тяжелых металлов и хлоридов из пыли электродуговых печей в цементных растворах / Ledesma E.F. [и др.] // Строительство и стройматериалы. 2018. Т. 183. С. 365–375 (на английском языке)
9. Обработка хлорированием для извлечения золота из тугоплавких золото-медно-мышьякосодержащих концентратов / Dosmukhamedov N. [и др.] // Экологическое развитие. 2022. № 14. С. 1–14 (на английском языке)
10. Извлечение цинка и свинца из шлаков медеплавильного производства путем хлорирующего обжига / Guo X. [и др.] // ЖОМ. 2021. Т. 73. № 6. С. 1861–1870 (на английском языке)
11. Извлечение золота из электронного лома путем низкотемпературного хлорирующего обжига / Zholdasbay E.E. [и др.] // Цветные металлы. 2024. Т. 1. С. 22–27 (на английском языке)

12. *Поведение золота и цветных металлов при низкотемпературном хлорирующем обжиге электронных отходов / Dosmukhamedov N. [и др.] // Металлург. 2024. № 3. С. 1–9 (на английском языке)*

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Электрондық қалдықтардың жаһандық мониторингі, 2017 жыл / Балде К.П. [және т. б.]. Бонн/Женева/Вена: Біріккен Ұлттар Ұйымының университеті (БҰҰ), Халықаралық телекоммуникация одағы (ХЭО) және қатты қалдықтар жөніндегі халықаралық қауымдастық (Mato), 2017, 26 б. (орыс тілінде)*
2. *Gadekar J. Электрондық қалдықтардан алтынын және басқа да бағалы металдарды алу // Халықаралық фармацевтика және фармацевтикалық зерттеулер журналы. 2017. № 1. Б. 24–34 (ағылшын тілінде)*
3. *Hagelken C., Corti C. Электроникадан алтынды қайта өңдеу: «Қайта өңдеуге арналған дизайн» арқылы үнемді пайдалану // Алтын бюллетень. 2010. № 43 (3). Б. 209–220 (ағылшын тілінде)*
4. *Kaya M. Электрондық қалдықтардан металдарды физикалық және химиялық қайта өңдеу процестерімен қалпына келтіру // Халықаралық химиялық және молекулалық инженерия журналы. 2016. № 10 (2). Б. 259–270 (ағылшын тілінде)*
5. *Al Balushi M., Kaithari D.K. Электрондық қалдықтардан алтынды тотықсыздандыру // Технология және менеджмент саласындағы студенттерді зерттеудің халықаралық журналы. 2016. № 4 (3). Б. 44–48 (ағылшын тілінде)*
6. *Аккра мен Корфоридуадағы (Гана) электронды қалдықтарды қайта өңдеу және кәдеге жарату орындарындағы химиялық ластану / Brigden K. [және т. б.] // Greenpeace research laboratories техникалық ескертпесі. 2008. 23 б. (ағылшын тілінде)*
7. *Электр станциясының күлін хлорлау нәтижесінде алынған таза глинозем мен кремний диоксиді / Dosmukhamedov N. [және т. б.] // ЖОМ. 2020. № 72 (10). Б. 3348–3357 (ағылшын тілінде)*
8. *Цемент негізіндегі ерітінділердегі электр доғалы пеш шаңынан ауыр металдар мен хлоридтерді шаймалаудағы рн рөлі / Ledesma E.F. [және т. б.] // Құрылыс және құрылыс материалдары. 2018. Т. 183. Б. 365–375 (ағылшын тілінде)*
9. *Отқа төзімді алтын-мыс-мышьяк концентраттарынан алтын алу үшін хлорлауды өңдеуді қолдану / Dosmukhamedov N. [және т. б.] // Тұрақтылық. 2022. № 14. Б. 1–14 (ағылшын тілінде)*
10. *Хлорлау әдісімен мыс балқыту шлактарынан мырыш пен қорғасынды тотықсыздандыру / Guo X. [және т. б.] // ЖОМ. 2021. Т. 73. № 6. Б. 1861–1870 (ағылшын тілінде)*
11. *Электронды сынықтардан алтынды төмен температурада хлорлау арқылы күйдіріп тотықсыздандыру / Zholdasbay E.E. [және т. б.] // Түсті металдар. 2024. Т. 1. Б. 22–27 (ағылшын тілінде)*
12. *Электрондық қалдықтарды төмен температурада хлорлау арқылы күйдіру кезіндегі алтын және түсті металдардың бөлініп таралуы / Dosmukhamedov N. [және т. б.] // Металлург. 2024. № 3. Б. 1–9 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Global'nyi monitoring elektronnykh otkhodov, 2017 [Global monitoring of electronic waste, 2017], Balde K.P. [et al.]. Bonn/Geneva/Vienna: Universitet Organizatsii Ob"edinennykh Natsii (UOON), Mezhdunarodnyi soyuz elektrosvyazi (MSE) i Mezhdunarodnaya assotsiatsiya po tverdyim otkhodam (MATO), 2017. 26 p. (in Russian)*
2. *Gadekar J. Extraction og Gold and other Precious Metals from e-waste // International Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Research. 2017. No. (1). 24–34 pp. (in English)*
3. *Hagelken C., Corti C. Recycling of gold from electronics: Cost-effective use through Design for Recycling // Gold Bulletin. 2010. No. 43 (3). 209–220 pp. (in English)*
4. *Kaya M. Recovery of Metals from Electronic Waste by Physical and Chemical Recycling Processes // International Journal of Chemical and Molecular Engineering. 2016. No. 10 (2). 259–270 pp. (in English)*
5. *Al Balushi M., Kaithari D.K. Recovery of Gold from e-waste // International Journal of Students' Research In Technology & Management. 2016. No. 4 (3). 44–48 pp. (in English)*
6. *Chemical Contamination at E-Waste Recycling and Disposal Sites in Accra and Korforidua, Ghana / Brigden K. [et al.] // Greenpeace research laboratories technical note. 2008. 23 p. (in English)*
7. *Alumina and Silica Produced by Chlorination of Power Plant Fly Ash Treatment / Dosmukhamedov N. // JOM. 2020. No. 72 (10). 3348–3357 pp. (in English)*
8. *The role of pH on leaching of heavy metals and chlorides from electric arc furnace dust in cement-based mortars / Ledesma E.F. [et al.] // Construction and Building Materials. 2018. V. 183. 365–375 pp. (in English)*

9. *Chlorination Treatment for Gold Extraction from Refractory Gold-Copper-Arsenic-Bearing Concentrates* / Dosmukhamedov N. [et al.] // *Sustainability*. 2022. No. 14. 1–14 pp. (in English)
10. *Recovery of Zinc and Lead from Copper Smelting Slags by Chlorination Roasting* / Guo X. [et al.] // *JOM*. 2021. V. 73. No. 6. 1861–1870 pp. (in English)
11. *Gold recovery from electronic scrap waste by low-temperature chloridizing roasting* / Zholdasbay E.E. [et al.] // *Non-ferrous Metals*. 2024. V. 1. 22–27 pp. (in English)
12. *Behavior of gold and non-ferrous metals during low-temperature chlorination roasting of e-waste* / Dosmukhamedov N. [et al.] // *Metallurgist*. 2024. No. 3. 1–9 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Жолдасбай Е.Е., Ph.D, доцент кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание» (г. Жезказган, Казахстан), zhte@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

Құрмансейтов М.Б., Ph.D, главный научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), murat.kmb@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5008-2866>

Аргын А.А., Ph.D, доцент кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание» (г. Жезказган, Казахстан), aidarargyn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

Досмухамедов Н.К., к.т.н., профессор, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), n.dosmukhamedov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жолдасбай Е.Е., Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының доценті (Жезқазған қ., Қазақстан)

Құрмансейтов М.Б., Ph.D, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Аргын А.А., Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының доценті (Жезқазған қ., Қазақстан)

Досмухамедов Н.К., т.ғ.к., профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zholdasbay Ye.Ye., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences (Zhezkazgan, Kazakhstan)

Kurmanseitov M.B., Ph.D, Chief Researcher Department of Metallurgy and Mineral Processing (Almaty, Kazakhstan)

Argyn A.A., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences (Zhezkazgan, Kazakhstan)

Dosmukhamedov N.K., Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing (Almaty, Kazakhstan)

Рудник The Mine

22–24 октября 2025, Екатеринбург

10-я международная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для горнодобывающей промышленности

одна из крупнейших горных выставок в России

МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 206-44-80

mine.proexpo.ru



официальная
поддержка:



Торгово-промышленная
палата Российской
Федерации



Правительство
Свердловской области



НП «Горнопромышленники
России»

Код МРНТИ 53.81.31

*Т.К. Сарсембеков¹, Т.А. Чепуштанова², Е.С. Меркибаев³, Т. Янко⁴^{1,2,3}НАО «Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Республика Казахстан),³UNDERSLAB LTD OOD – Общество с ограниченной ответственностью «Объединенная лаборатория по развитию и исследованиям» (г. Бургас, Республика Болгария)

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИЛЬМЕНИТОВОМ КОНЦЕНТРАТЕ САТПАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В статье представлены результаты минералогического исследования ильменитового концентрата, полученного из россыпей Сатпаевского месторождения Восточно-Казахстанской области. Работа направлена на изучение распределения редких и редкоземельных элементов – ниобия, циркония, скандия, лантана и церия – в структуре концентрата. Применены методы сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом (SEM-EDS) и фазового моделирования в программной среде HSC Chemistry. Установлено, что элементы находятся как в виде изоморфных замещений в структуре ильменита, так и в форме микровключений в гемоильмените, гематите, псевдуритиле и титаномagnetите. Полученные данные свидетельствуют о высокой перерабатываемости сырья и целесообразности его комплексного использования с извлечением стратегически важных компонентов.

Ключевые слова: ильменитовый концентрат, редкие элементы, редкоземельные элементы, Сатпаевское месторождение, сканирующая электронная микроскопия, энергодисперсионный анализ, ниобий, цирконий, минералогический состав, фазовый анализ.

Сатпаев кен орнының (Шығыс Қазақстан облысы) ильменит концентратындағы сирек және сирек жер элементтерінің минералдануын зерттеу

Аңдатпа. Мақалада Шығыс Қазақстан облысындағы Сатпаев кен орнының шайынды кендерінен алынған ильменит концентратының минералогиялық зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жұмыс ниобий, цирконий, скандий, лантан және церий сияқты сирек және сирек жер элементтерінің концентрат құрылымындағы таралуын зерттеуге бағытталған. Зерттеуде сканирлеуші электрондық микроскопия мен энергия-дисперсиялық талдау (SEM-EDS), сондай-ақ HSC Chemistry бағдарламалық ортасындағы фазалық модельдеу әдістері қолданылды. Элементтердің ильменит құрылымындағы изоморфты орынбасулар түрінде де, гемоильмените, гематитте, псевдуритилде және титаномagnetитте микроскоптың түрінде де кездесетіні анықталды. Алынған деректер шикізаттың кешенді пайдалану және стратегиялық маңызды компоненттерді өндіру тұрғысынан жоғары өндеуге жарамдылығын көрсетеді.

Түйінді сөздер: ильменит концентраты, сирек элементтер, сирек жер элементтері, Сатпаев кен орны, сканирлеуші электрондық микроскопия, энергия-дисперсиялық талдау, ниобий, цирконий, минералогиялық құрам, фазалық талдау.

Study of the mineralization of rare and rare-earth elements in ilmenite concentrate from the Satpayev deposit, East Kazakhstan Region

Abstract. The article presents the results of a mineralogical study of ilmenite concentrate obtained from the placers of the Satpayev deposit in the East Kazakhstan region. The research focuses on the distribution of rare and rare-earth elements – niobium, zirconium, scandium, lanthanum, and cerium – within the structure of the concentrate. Scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS) and phase modeling in the HSC Chemistry software environment were applied. It was found that the elements occur both as isomorphic substitutions within the ilmenite lattice and as micro-inclusions in hemoilmenite, hematite, pseudorutile, and titanomagnetite. The results demonstrate the high processability of the raw material and the feasibility of its comprehensive utilization with the extraction of strategically important components.

Key words: ilmenite concentrate, rare elements, rare-earth elements, Satpayev deposit, scanning electron microscopy, energy-dispersive analysis, niobium, zirconium, mineralogical composition, phase analysis.

Введение

Одним из перспективных направлений развития отечественной титано-магниевого промышленности является комплексная переработка ильменитового концентрата, полученного из Сатпаевского месторождения Восточно-Казахстанской области. Сырьё отличается высоким содержанием титана и железа, а также присутствием редких и рассеянных элементов, включая ниобий, ванадий, цирконий и скандий [1]. Учитывая растущую потребность в стратегических металлах, научно обоснованное вовлечение подобных концентратов в переработку приобретает все большее значение.

Минералогический состав ильменита характеризуется высокой сложностью, обусловленной как первичными кристаллохимическими свойствами, так и вторичными трансформациями, происходящими под воздействием выветривания. Согласно литературным данным [2–10], в структуре ильменита возможны изоморфные замещения Ti^{4+} и Fe^{2+}/Fe^{3+} на элементы Mg , Mn , Al , Cr и V , что изменяет его магнитные, электрические и флотационные характеристики. Кроме того, в ряде месторождений установлено присутствие включений гематита, гемоильменита,

титаномagnetита и псевдуритилов, что оказывает значительное влияние на схемы переработки и выбор реагентов.

Сатпаевское месторождение представляет собой аллювиальную россыпь, образовавшуюся за счет размыва коры выветривания титаносодержащих пород Караоткельской зоны. Рудные пески характеризуются высоким содержанием ильменита (до 90–97%) и представляют интерес как источник не только титана, но и попутно извлекаемых ценных компонентов. Проведенные ранее исследования [11] показали, что ильменит Сатпаевского месторождения содержит до 0,02% Nb_2O_5 и обладает высокой радиоактивностью (1236 Бк/кг), что требует специального подхода к технологии переработки.

Несмотря на наличие отдельных исследований по физико-химическим характеристикам ильменитовых концентратов разных стран (Индия, Бразилия, Иран, Индонезия, Россия), публикации, касающиеся **конкретных форм нахождения и поведения ниобия** и других редких и редкоземельных элементов в структуре ильменита при переработке, особенно в образцах казахстанских месторождений, практически отсутствуют. Таким образом,

существует необходимость в проведении комплексного исследования по изучению минералогии и распределения редких элементов в ильменитовом концентрате Сатпаевского месторождения с применением современных аналитических методов.

Целью настоящей работы является изучение минерализации редких элементов, в первую очередь ниобия, в составе ильменитового концентрата с помощью сканирующей электронной микроскопии с ЭДС-анализом (SEM-EDS) с расчетом фазового состава исследованных микроучастков ильменитового концентрата в программе HSC Chemistry 6.0, модуль Mineralogy Iterations, а также оценка перспектив извлечения ценных компонентов в составе комплексной переработки титаносодержащего сырья.

Методы

Объектом исследования является ильменитовый концентрат Сатпаевского месторождения Восточно-Казахстанской области. Исследование направлено на определение формы нахождения редких элементов, прежде всего ниобия, а также на выявление фазового состава компонентов концентрата.

Аналитические работы выполнялись с использованием электронно-зондового микроанализатора JXA-8230 (JEOL), оснащенного сканирующей электронной микроскопией (SEM) и энергодисперсионной спектроскопией (EDS). Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе электронного пучка 25 пА – 5 нА и мертвом времени до 20%, что обеспечивает достоверную визуализацию и регистрацию структурных особенностей объектов в диапазоне от долей микрона до сотен микрон. Увеличение варьировалось от $\times 40$ до $\times 4000$.

В качестве основного режима съемки использовался режим *обратно рассеянных электронов (COMPO)*, обеспечивающий повышенную контрастность участков с более высоким атомным номером. Дополнительно проводилась съемка в режиме *вторичных электронов (SEI)* для визуализации микроморфологии поверхности.

Всего было выполнено:

28 микрофотографий в различных режимах;

78 точечных микроанализов (EDS);

3 ЭДС-анализа по участкам;

9 ЭДС-картирования по элементам;

3 ВДС-картирования (волновая дисперсия);

2 ВДС-точечных анализа.

Дополнительно, свыше 300 точек были проанализированы в режиме недокументированного контроля для верификации микроструктурных аномалий.

Расчет *фазового состава* по результатам микроанализа выполнен с использованием программы HSC Chemistry 6.0 (модуль Mineralogy Iterations) по методике, изложенной в [12]. Для расчетов использованы полуколичественные данные, откорректированные по методике ZAF (автоматическая поправка на эффект атомного номера, поглощение и флуоресценцию).

Результаты

В результате сканирующего электронно-микроскопического исследования ильменитового концентрата Сатпа-

евского месторождения, проведенного при увеличениях от $\times 40$ до $\times 4000$, были получены серии микроснимков, демонстрирующих морфологию, форму, размеры и распределение частиц. В режиме вторичных и обратно рассеянных электронов визуализированы как плотные титаносодержащие зерна, так и вкрапления примесей.

Энергодисперсионный анализ (EDS) выявил наличие в исследуемых микроучастках элементов *O, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Fe, Zr* и *Nb*. По результатам картирования составов были выполнены расчеты фазового состава с использованием модуля Mineralogy Iterations программы HSC Chemistry 6.0.

Пример 1: Микроучасток ильменитового концентрата

Расчет показал, что титан представлен в виде $FeTiO_3$ и TiO_2 , ниобий – в форме Nb_2O_5 , цирконий – в форме ZrO_2 , алюминий, магний, кальций, фосфор и скандий – в виде соответствующих оксидов (таблица 1). Присутствие фаз подтверждено как визуально, так и спектрометрически.

Таблица 1

Фазовый состав микроучастка ильменитового концентрата

Кесте 1

Ильменит концентратының микроучаскесінің фазалық құрамы

Table 1

Phase composition of the microarea of ilmenite concentrate

Фаза	Основной элемент	Содержание, % масс.
$FeTiO_3$	<i>Fe, Ti</i>	70.58
TiO_2	<i>Ti</i>	24.68
Al_2O_3	<i>Al</i>	2.26
Sc_2O_3	<i>Sc</i>	0.68
Nb_2O_5	<i>Nb</i>	0.06
ZrO_2	<i>Zr</i>	0.08
SiO_2	<i>Si</i>	0.73
MgO, CaO, P_2O_5	<i>Mg, Ca, P</i>	в следовых количествах

Пример 2: Ильменитовая частица с оксидами Al, Mg, Si

В одном из анализируемых участков обнаружены примеси оксидов алюминия (Al_2O_3), магния (MgO) и кремния (SiO_2), подтвержденные как по содержанию (таблица 2), так и по картированию (рис. 1). Основная фаза – $FeTiO_3$ (98,02%).

Пример 3: Включения редких и радиоактивных минералов

В отдельных микрообластях зафиксированы: частица монацита ($CePO_4, LaPO_4, ThPO_4$), содержащая *Ce, La, Th* (таблица 3 и рис. 2); частица циркона ($ZrSiO_4$) с примесью *Hf* и *Ti* (таблица 4 и рис. 3).

Таблица 2

Результаты расчета фазового состава частицы ильменита

Кесме 2

Ильменит бөлшегінің фазалық құрамын есептеу нәтижелері

Table 2

Results of phase composition calculation of the ilmenite particle

Ilmemite	Target	Amount	Content	Al	Fe	Mg	O	Si	Ti
Species	Element	kg	wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%
Target =>			100.00	0.34	18.47	0.58	43.17	0.36	37.08
Result =>		1000	100.00	0.28	36.07	0.48	31.92	0.30	30.94
FeTiO3	Ti	980	98.02		36.07		31.00		30.94
Al2O3	Al	5	0.54	0.28			0.25		
MgO	Mg	8	0.80			0.48	0.32		
SiO2	Si	6	0.64				0.34	0.30	

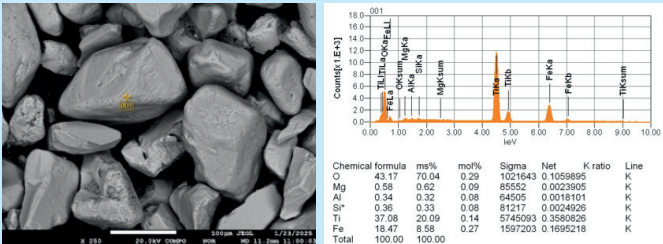


Рис. 1. Микроснимки частиц ильменита с химическим составом.

Сурет 1. Ильменит бөлшектерінің микросуреттері және олардың химиялық құрамы.

Figure 1. Micrographs of ilmenite particles with their chemical composition.

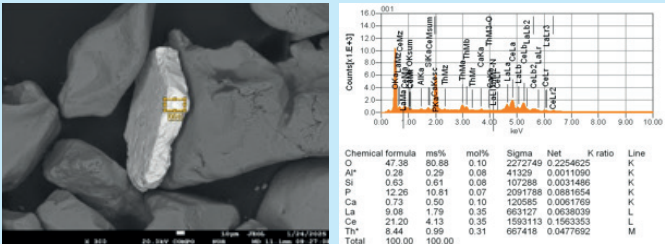


Рис. 2. Микроснимки частицы монацита с химическим составом.

Сурет 2. Монацит бөлшегінің микросуреттері және оның химиялық құрамы.

Figure 2. Micrographs of the monazite particle with its chemical composition.

Таблица 3

Результаты расчета фазового состава частицы монацита

Кесме 3

Монацит бөлшегінің фазалық құрамын есептеу нәтижелері

Table 3

Results of phase composition calculation of the monazite particle

Monacite	Target	Amount	Content	Al	Ca	Ce	La	O	P	Si	Th
Species	Element	kg	wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%
Target =>			100.00	0.28	0.73	21.20	9.08	47.38	12.26	0.63	8.44
Result =>		100	100.00	0.43	1.11	32.29	13.83	26.58	11.94	0.96	12.86
CePO4	Ce	54	54.18			32.29		14.75	7.14		
LaPO4	La	23	23.29				13.83	6.37	3.08		
ThPO4	Th	18	18.12					3.55	1.72		12.86
Al2O3	Al	1	0.81	0.43				0.38			
SiO2	Si	2	2.05					1.09		0.96	
CaO	Ca	2	1.56		1.11			0.44			

Таблица 4

Результаты расчета фазового состава частицы циркона

Кесме 4

Циркон бөлшегінің фазалық құрамын есептеу нәтижелері

Table 4

Results of phase composition calculation of the zircon particle

Zircon	Target	Amount	Content	Fe	Hf	O	Si	Ti	Zr
Species	Element	kg	wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%	#wt-%
Target =>			100.01	0.63	1.38	38.72	12.85	1.08	45.35
Result =>		1000	100.00	1.31	1.43	34.46	14.52	1.12	47.15
ZrSiO ₄	Zr	948	94.75			33.08	14.52		47.15
FeTiO ₃	Ti	36	3.56	1.31		1.13		1.12	
HfO ₂	Hf	17	1.69		1.43	0.26			

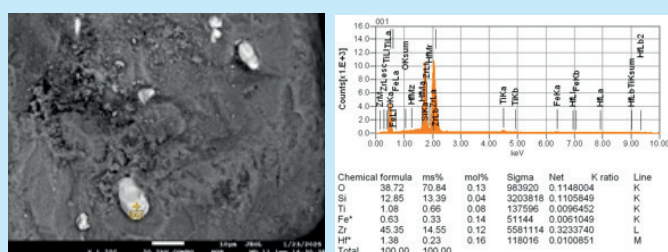


Рис. 3. Микроснимки частицы циркона с химическим составом.

Сурет 3. Циркон бөлшегінің микросуреттері және оның химиялық құрамы.

Figure 3. Micrographs of the zircon particle with its chemical composition.

EDS и WDS-картирование

Проведено элементное картирование с распределением по следующим элементам:

EDS: O, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Fe, Zr, Nb (рис. 4);

WDS: O, Fe, Zr, Hf, Si (рис. 5).

Данные картирования подтверждают неоднородное распределение примесных и ценных компонентов, локализованных преимущественно в зонах межзерновых включений и вторичных фаз.

Обсуждение результатов

В результате комплексного микронзондового анализа установлено, что ильменитовый концентрат Сатпаевского месторождения представляет собой сложную многокомпонентную систему, в которой редкие элементы распределены преимущественно в виде примесей в минеральной матрице. SEM-EDS анализ позволил идентифицировать основные минералы: ильменит ($FeTiO_3$), гематит (Fe_2O_3), титаномagnetит, псевдорутит и включения гемойльменита. При этом ниобий был зафиксирован в форме изоморфных включений в решетке ильменита, а также в виде микровключений вторичных минералов – предполагаемо феррониобатов и ниобатов титана.

Элементные карты распределения (EDS) показали, что ниобий и цирконий преимущественно локализуются

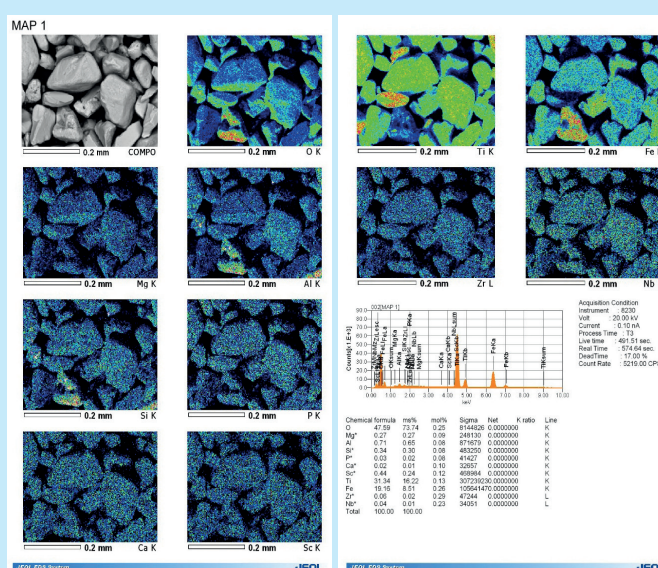


Рис. 4. EDS-картирование участка ильменитового концентрата по элементам O, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Fe, Zr и Nb с химическим составом данного микроучастка.

Сурет 4. Ильменит концентраты учаскесінің O, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Fe, Zr және Nb элементтері бойынша EDS-картографиясы және осы микроучаскенің химиялық құрамы.

Figure 4. EDS mapping of the ilmenite concentrate area for elements O, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Fe, Zr, and Nb with the chemical composition of the microarea.

в зонах, ассоциированных с обогащенными фрагментами железа и титана, в то время как скандий и другие РЗЭ (лантан, церий) встречаются в виде рассеянных примесей и микровключений, часто неидентифицируемых в рамках стандартной кристаллохимии ильменита. Предположительно, данные элементы могут находиться в адсорбированном состоянии на поверхности мелкодисперсных минеральных фаз либо входить в состав тонкодисперсных фаз типа монацита и алланаита, характерных для россыпей корового происхождения.

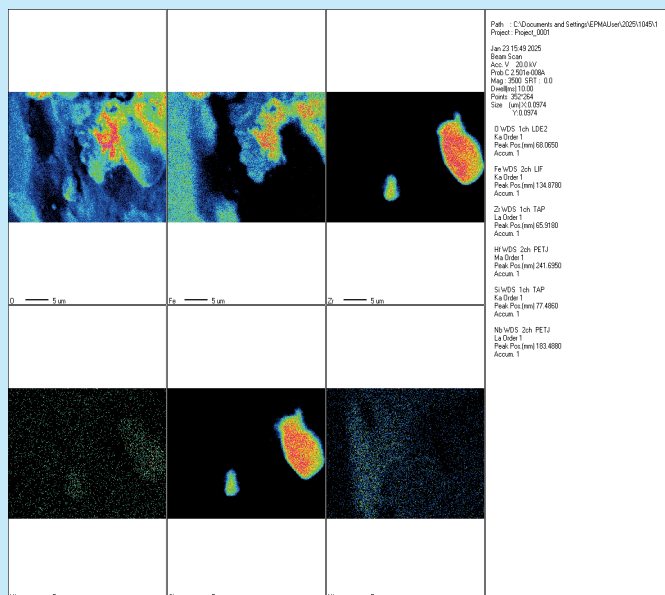


Рис. 5. WDS-картирование микроучастка ильменитового концентрата по элементам O, Fe, Zr, Hf, Si, Zr.

Сурет 5. Ильменит концентраты микроучасткесінін O, Fe, Zr, Hf және Si элементтері бойынша WDS-картографиясы.

Figure 5. WDS mapping of the ilmenite concentrate microarea for elements O, Fe, Zr, Hf, and Si.

Наличие редкоземельных элементов подтверждает важность более детального минералого-геохимического анализа, поскольку они потенциально могут быть выделены как попутная ценная составляющая при переработке. Однако неравномерное распределение и отсутствие устойчивых кристаллических фаз затрудняет их селективное извлечение традиционными методами.

Дополнительным ограничивающим фактором является высокая радиоактивность ильменитового концентрата (до 1236 Бк/кг), связанная с присутствием природных изотопов тория и урана. Их содержание коррелирует с фракционным составом и степенью выветривания исходной руды, а также может быть связано с сорбцией на поверхности микрофаз, содержащих РЗЭ.

Сравнение с зарубежными аналогами (Индия, Бразилия, Иран, Россия) показывает, что ильменит Сатпаевского месторождения уступает по содержанию редких элементов, но его чрезвычайно высокое содержание основного компонента (до 97% ильменита), наличие редких и редкоземельных элементов и благоприятные геолого-технические условия залегания делают его перспективным объектом для комплексной переработки.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки технологии с предварительным фракционированием и выделением зон, обогащенных ниобием и РЗЭ, с последующим фазоселективным извлечением на основе хлорирования, кислотного выщелачивания или ионообменной сепарации. Оптимизация условий может быть достигнута путем термодинамического моделирования поведения элементов с учетом фазовой принадлежности и взаимодействия в системе *Ti-Fe-Nb-Zr-Sc-REE-O-Cl*.

Закключение

В ходе настоящего исследования проведен комплексный анализ минерального и химического состава ильменитового концентрата, полученного из россыпей Сатпаевского месторождения Восточно-Казахстанской области. С применением методов сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом (SEM-EDS) и фазового моделирования в программной среде HSC Chemistry установлено, что основным минералом является ильменит с примесью гемойльменита, гематита, титаномагнетита и псевдорутитов.

Выявлено, что ниобий, цирконий, скандий, а также отдельные редкоземельные элементы (лантан, церий) присутствуют в структуре концентрата в форме изоморфных замещений и микровключений. Наиболее значимым является распределение ниобия, локализованного преимущественно в зонах обогащения железом и титаном, что подтверждает перспективность его попутного извлечения при переработке. Кроме того, повышенное содержание естественных радионуклидов требует разработки специализированных методов дезактивации и безопасной утилизации отходов.

Полученные данные могут быть использованы для разработки эффективных технологических схем комплексной переработки ильменитового концентрата с вовлечением редких и редкоземельных компонентов. Научная новизна работы заключается в установлении особенностей распределения стратегических элементов в малоизученных казахстанских россыпях и в обосновании необходимости применения фазово-селективных методов извлечения. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение поведения выявленных элементов на стадиях хлорирования, кислотного выщелачивания и гидрометаллургической селекции.

Благодарность

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP22686490).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сарсембеков Т.К., Чепуштанова Т.А. Распределение ниобия и ванадия в промпродуктах при производстве тетрахлорида титана // Цветные металлы. 2022. № 8 (956). С. 55–60 (на русском языке)
2. Эльснер Х. Тяжелые минералы экономической важности: Ганновер: BGR, 2010. 218 с. (на английском языке)

3. Памплон Г., Гомес К.К. Потенциал ильменита в качестве солнечного поглотителя // Журнал теплотехнической инженерии. 2020. Т. 19. № 2. С. 59 (на английском языке)
4. Минералогический анализ и процесс извлечения из ильменитовых пород / Сукмара С. [и др.] // Журнал исследований и технологий материалов. 2022. Т. 17. С. 3384–3393 (на английском языке)
5. Химический и минералогический состав ильменита / Мехдило А. [и др.] // Журнал минералогической инженерии. 2015. Т. 70. С. 64–76 (на английском языке)
6. Рао Д.С., Сенгупта Д. Электронно-микроскопические исследования ильменита // Журнал спектроскопии. 2014. С. 8 (на английском языке)
7. Новоселов К.Л., Гаврилова К.А. Типоморфные особенности акцессорного ильменита // MATEC Web of Conferences. 2016. Т. 48. С. 4 (на английском языке)
8. Исследования происхождения ильменита / Рао П.Г. [и др.] // Журнал Геологического общества Индии. 2019. Т. 93. С. 101–108 (на английском языке)
9. Ильменит как индикатор алмазоносности / Кармоди Л. [и др.] // Экономическая геология. 2014. Т. 109. С. 775–783 (на английском языке)
10. Состав ильменита как индикатор условий формирования промышленно-алмазоносных и безрудных кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции / А.В. Каргин [и др.] // Петрология. 2020. № 4. С. 341–369 (на русском языке)
11. Разделение и характеристика минеральных компонентов / Контрерас М. [и др.] // Международный журнал теплотехники и экологии. 2018. Т. 16. № 2. С. 105–112 (на английском языке)
12. Мальцев Г.И., Тимофеев К.Л. Расчет и оптимизация технологий с использованием HSC Chemistry: учебное пособие: М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 212 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сарсембеков Т.К., Чепуштанова Т.А. Тетрахлорид титанын өндіру кезіндегі өндірістік өнімдерде ниобий мен ванадийдің таралуы // Түсті металдар. 2022. № 8 (956). Б. 55–60 (орыс тілінде)
2. Эльснер Х. Экономикалық маңызды ауыр минералдар: Ганновер: BGR, 2010. 218 б. (ағылшын тілінде)
3. Памплон Г., Гомес К.К. Ильменитті күн сәулесін сіңіргіш ретінде қолдану мүмкіндігі // Жылу инженериясы журналы. 2020. Т. 19. № 2. Б. 59 (ағылшын тілінде)
4. Ильменитті жыныстардың минералдық құрамы және оларды бөлу процесі / Сукмара С. [және т. б.] // Материалдарды зерттеу және технологиялар журналы. 2022. Т. 17. Б. 3384–3393 (ағылшын тілінде)
5. Ильмениттің химиялық және минералогиялық құрамы / Мехдило А. [және т. б.] // Минералдық инженерия журналы. 2015. Т. 70. Б. 64–76 (ағылшын тілінде)
6. Рао Д.С., Сенгупта Д. Ильменитті электрондық микроскоппен зерттеу // Спектроскопия журналы. 2014. Б. 8 (ағылшын тілінде)
7. Новоселов К.Л., Гаврилова К.А. Ілесіе ильмениттің типоморфтық белгілері // MATEC Web of Conferences. 2016. Т. 48. Б. 4 (ағылшын тілінде)
8. Ильмениттің пайда болуын зерттеу / Рао П.Г. [және т. б.] // Үндістан геологиялық қоғамының журналы. 2019. Т. 93. Б. 101–108 (ағылшын тілінде)
9. Алмас индикаторы ретінде ильменит / Кармоди Л. [және т. б.] // Экономикалық геология. 2014. Т. 109. Б. 775–783 (ағылшын тілінде)
10. Архангельск алмаз губерниясының өнеркәсіптік алмасты және бедеу кимберлиттердің қалыптасу жағдайларының көрсеткіші ретінде ильменит құрамы / А.В. Каргин [және т. б.] // Петрология. 2020. № 4. Б. 341–369 (орыс тілінде)
11. Минералдарды бөлу және сипаттау / Контрерас М. [және т. б.] // Жылу және қоршаған орта инженериясы жөніндегі халықаралық журнал. 2018. Т. 16. № 2. Б. 105–112 (ағылшын тілінде)
12. Мальцев Г.И., Тимофеев К.Л. HSC Chemistry көмегімен технологияларды есептеу және оңтайландыру: оқу құралы: М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 212 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Sarsembekov T.K., Chepushtanova T.A. Raspređenje niobiya i vanadiya v promproduktakh pri proizvodstve tetrakhlorida titana [Distribution of niobium and vanadium in by-products during titanium tetrachloride production], Tsvetnye Metally [Non-Ferrous Metals]. 2022. No. 8 (956). 55–60 pp. (in Russian)
2. Elsner H. Heavy Minerals of Economic Importance: Hannover: BGR, 2010. 218 p. (in English)

3. Pamplona G., Gomes K.C. Potential of ilmenite as a solar absorber // *Journal of Thermal Engineering*. 2020. V. 19. No. 2. 59 p. (in English)
4. Mineral analysis and extraction process of ilmenite rocks / Sukmara S. [et al.] // *Journal of Materials Research and Technology*. 2022. V. 17. 3384–3393 pp. (in English)
5. Chemical and mineralogical composition of ilmenite / Mehdilo A. [et al.] // *Minerals Engineering*. 2015. V. 70. 64–76 pp. (in English)
6. Rao D.S., Sengupta D. Electron microscopic studies of ilmenite // *Journal of Spectroscopy*. 2014. 8 p. (in English)
7. Novoselov K.L., Gavrilova K.A. Typomorphic features of accessory ilmenite // *MATEC Web of Conferences*. 2016. V. 48. 4 p. (in English)
8. Provenance studies of ilmenite / Rao P.G. [et al.] // *Journal of the Geological Society of India*. 2019. V. 93. 101–108 pp. (in English)
9. Ilmenite as a diamond indicator mineral / Carmody L. [et al.] // *Economic Geology*. 2014. V. 109. 775–783 pp. (in English)
10. Sostav il'menita kak indikator uslovii formirovaniya promyshlenno-almazonosnykh i bezrudnykh kimberlitov Arkhangel'skoi almazonosnoi provintsii [Composition of ilmenite as an indicator of the conditions of formation of industrial diamond-bearing and barren kimberlites of the Arkhangelsk diamond province], A.V. Kargin [et al.], *Petrologiya [Petrology]*. 2020. No. 4. 341–369 pp. (in Russian)
11. Mineral separation and characterization / Contreras M. [et al.] // *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*. 2018. V. 16. No. 2. 105–112 pp. (in English)
12. Maltsev G.I., Timofeev K.L. Raschet i optimizatsiya tekhnologii s ispol'zovaniem HSC Chemistry: uchebnoe posobie [Calculation and optimization of technologies using HSC Chemistry: textbook]. Moscow: Vologda: Infra-Inzheneriya, 2023. 212 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Сарсембеков Т.К., MBA, ст. преподаватель, кафедра МиОПИ, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), t.sarsembekov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9454-6335>

Чепуштанова Т.А., Ph.D, к.т.н., ассоц. профессор, кафедра МиОПИ, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), t.chepushtanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

Меркибаев Е.С., Ph.D, старший преподаватель, кафедра МиОПИ, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), e.merkibayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-3869-6835>

Янко Т., Ph.D, главный научный директор UNDERSLAB LTD OOD (г. Бургас, Болгария), titanlab3@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2217-4290>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сарсембеков Т.К., MBA, аға оқытушы, МиОПИ кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Чепуштанова Т.А., Ph.D, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, МиОПИ кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Меркибаев Е.С., Ph.D, аға оқытушы, МиОПИ кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Янко Т., Ph.D, UNDERSLAB LTD OOD бас ғылыми директоры (Бургас қ., Болгария)

Information about the authors:

Sarsembekov T.K., MBA, Senior Lecturer, Department of Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Chepushtanova T.A., Ph.D, Associate Professor, Department of Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Merkibayev E.S., Ph.D, Senior Lecturer, Department of Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Yanko T., Ph.D, Chief Scientific Officer, UNDERSLAB LTD OOD (Burgas, Bulgaria)

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.



ME FIT Grinding

**Изнашиваемые детали для мельниц
и дробилок всех типов**

- | | |
|-----------------------|----------------|
| ■ Полусамоизмельчения | ■ Гирационных |
| ■ Самоизмельчения | ■ Щековых |
| ■ Шаровых | ■ Конусных |
| ■ Стержневых | ■ Вертикальных |

ME Elecmetal

тел.:

+7 914 880 4545
+7 777 247 0787
+1 778 875 7525

mongolia@me-elecmetal.com
www.me-elecmetal.com

Код МРНТИ 52.47.15

А.Р. Кембаев¹, *Г.Ж. Бимбетова¹, Н.Ш. Отарбаев¹, Р.М. Бекенов²¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан),²Қазақ ұлттық сушаруашылығы және ирригация университеті (Тараз қ., Қазақстан)

ШЕГЕНДЕУ БАҒАНАЛАРЫН БЕКІТУ ҮШІН ТАМПОНАЖДЫҚ ҚОСПАЛАРДЫҢ ЖАҢА ҚҰРАМЫН АЛУ

Аннотация. Қызылорда, Жамбыл, Түркістан облыстарындағы мұнай, газ кен орындарында ұңғымаларды бұрғылауда шегендеу бағаналарын бекітетін тампонаждық ерітінділер құрамындағы қоспалардың қасиеттерінің төмен көрсеткіштеріне байланысты туындайтын қиындықтардың әсерінен, алынатын өнімнің сапасы нормативтік мәндерге сәйкес келмейді, бұл бүгінгі өзекті мәселелердің бірі. Сондықтан, тампонажды ерітінді қоспаларының рецептурасын жақсарту және цементтеу техникасы мен технологиясын жетілдіру әдісі зерттелді. Берілген мақалада жергілікті мотор майлары өндірісінің адсорбциясы сатысындағы қалдық – ағартқыш сазды қолдану арқылы алынған тампонажды ерітінділердің негізгі қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер тампонажды ерітіндінің өткізгіштігінің жоғары деңгейін көрсетті.

Түйінді сөздер: тампонажды ерітінділер, қоспалар, мотор майларын ағартқыш сазы, бұрғылау, ұңғымаларды бекіту, шегендеу бағаналары.

Obtaining a new composition of grouting mixtures for mounting casing columns

Abstract. When drilling wells in the oil and gas fields of the Kyzylorda, Zhambyl, and Turkestan regions, under the influence of difficulties arising from the low properties of mixtures in grouting solutions, the quality of the products does not meet regulatory standards, which is one of the most pressing problems today. In this regard, a method for improving the formulations of grouting solutions for fixing casing strings of oil and gas wells and improving the technique and technology of well cementing has been investigated. This article presents the results of a study of the basic properties of grouting solutions obtained using a waste from the adsorption stage of locally produced motor oils, bleaching clay. The results showed a high level of permeability of the grouting solution.

Key words: grouting solutions, mixtures, bleach clay of motor oils, drilling, well fixing, casing.

Получение нового состава тампонажных смесей для крепления обсадных колонн

Аннотация. При бурении скважин на нефтяных, газовых месторождениях Кызылординской, Жамбылской, Туркестанской областей под влиянием сложностей, возникающих из-за низких показателей свойств смесей в составе тампонажных растворов, качество получаемой продукции не соответствует нормативным значениям, что является одной из актуальных проблем на сегодняшний день. В связи с этим исследован способ улучшения рецептур тампонажных растворов при креплении обсадных колонн нефтегазовых скважин и совершенствование техники и технологии цементирования скважин. В данной статье представлены результаты исследования основных свойств тампонажных растворов, полученных с использованием отхода стадии адсорбции местного производства моторных масел – отбеливающей глины. Полученные результаты показали высокий уровень проницаемости тампонажного раствора.

Ключевые слова: тампонажные растворы, смеси, отбеленная глина моторных масел, бурение, крепление скважин, обсадные колонны.

Кіріспе

Мұнайгаз саласы бұл әлемдік экономиканың күре тамыры, Қазақстанда және басқада шет мемлекеттерде қол жетімді барлық мұнайгаз кен орындары толықтай игеріліп жатыр. Өткен ғасырдың 60–70-ші жылдарына дейін ұңғымаларды бұрғылау барысында шегендеу бағаналарын қатайту үшін қабатқа айдалатын тампонаждық цемент ерітіндісінен сұйықтықтың сіңірілу мөлшерін төмендету мәселелері өте маңызды деп саналмады. Өйткені ол уақытта қабаттағы өнім көп болды және пайдаланушы ұңғымалардың тереңдігі 100 метрден аспады. Ал қазіргі уақытта технологияның сағат санап дамуына байланысты пайдаланушы ұңғымадан алынатын әрбір өнімді тиімді игеру мен пайдалану жан-жақты қарастырылған. Ұңғымаларды бұрғылау тәжірибесі мен әдеби деректердің зерттелуіне қарайтын болсақ, әлемдегі көптеген мұнай және газ кен орындарында әдеттен тыс қабаттағы қысымның төмен болуы және әлсіз цементтелген жыныстар мен карбонатты шөгінділер асқынулардың себебі болып табылатынын көрсетеді. Жалпы, көп жағдайда тығындау ерітінділерінің фильтрациялық қасиеттері (субергіштік пен су бөлу), қатаю мерзімдері, ұңғымаға айдалу мерзімі, реологиялық қасиеттер және цемент тасының қасиеттерін түзеуге болатынын анықтадық. Осыған байланысты авторлар бүгінгі уақытта еліміздегі көптеген кенорындарда әсіресе Қызылорда, Жамбыл және Түркістан облыстарындағы ұңғыма өнімділігінің төмендігі, ұңғы өнімінің сулануы, тізбек аралық қысымның болуы және газдың бергіштіктің арттыруға бағытталған әдіс-тәсілдердің төмен екендігі көрсетілуде [1].

Цементтеу процесі мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау үрдісінде маңызды роль атқаратындығы белгілі.

Өйткені сапалы цементтеу бұрғылау жұмыстарын жалғастыруға, яғни келесі шегендеу тізбегін орнату аралығын бұрғылау мүмкіндік береді. Ал, пайдаланушы ұңғымаларды аяқтау кезіндегі, яғни пайдалану тізбегін цементтеу процесі, сапалы цементтеудің маңыздылығы одан әрі арта түседі. Себебі пайдалану құбыры ұңғыма мен өнімді қабатты байланыстыратын маңызды түйін және ұңғыманың пайдалану ұзақтылығы мен дебитіне тікелей әсерін тигізеді. Ал, өнімді қабат аймағын сапасыз цементтеу ұңғымалардың өздігінен бітелуінен бастап тұщы су қабаттарының ластануына, немесе күрделі апаттарға алып келуі мүмкін [2]. Өңделген сазды тампонаждық ерітіндіге қосудың мақсаты ұңғымаларды цеменеттеу кезінде шегендеуші құбырлар арқылы өтетін тампонажды ерітіндіміз башмақ арқылы кеңістікке өтеді. Осы аралықта башмақпен кеңістік, яғни тау жыныстарына тездетіп өтеді және ұңғымадағы шегендеу бағаналарының қатаюуына өз септігін тигізеді.

Бағыттаушы колонаның ішімен кондуктор колонасының аралық кеңістігін сағаға дейін цементтеледі, бұл цементтеудің қажеттілігі өнімге кедергі келмес үшін және қандайда бір жоғарғы құбыр басы орнатылуы үшін цементтеледі, осы аралық цементтеудің сапасы белгіленген интервалдан жоғарғы сағаға дейін 90% тампонаждық ерітіндінің сапасы жоғары болуы үшін жасалынады.

Технологиялық қасиеттердің барлығы зертханалық зерттеулер мен өндірістік жағдайдағы сынақтар өткізу барысында реттеледі. Ұңғыманы цементтеуден кейінгі кезеңде, әдетте, акустикалық каротаж цементтің қату кезеңі аяқталғаннан кейін бірден жүзеге асырылады және цементтеу сапасы туралы мәлімдеме береді. Бірақ, ұңғыманы цементтеуден кейін аяқтау жұмыстары жүргізіледі:

кері клапанының саңылаусыздығын анықтау мақсатында атмосфералық қысымға дейін төмендету; ұңғымаларды цементтеу сапасын тексеру (акустикалық каротаж, термометрия, радиоактивті каротаж); шегендеу тізбегінің саңылаусыздығын гидравликалық әдіспен сынау цементтеу сапасын бағалаудың соңғы нәтижесін анықтау мақсатында перфорация алдында акустикалық каротаж өткізуді ұсынады. Өйткені, ұңғыманы оқшаулау потенциалы жоғарыда аталған барлық жүктемелерге төтеп беруі керек және ұңғымаларды пайдалану кезеңінде ғана емес, сонымен қатар осы кезең аяқталғаннан кейін де өзінің тұтастығын сақтауы тиіс [3].

Ұңғымаларды оқшаулауды зерттеу әдістерінің бірі гидравликалық сынау болып табылады. Артық қысымда саңылаусыздықты тексеру кезінде жағымсыз салдардың бірі ішкі қысымның артуы арқылы тізбектің кеңеюі, бұл радиалды және тангенциалды жарықтардың пайда болуымен қатар, цемент тасының ұңғы элементтерімен жанасу орындарында микросаңылаулардың пайда болуына әкеледі. Акустикалық каротаж арқылы анықталатын негізгі ақаулар: бағананың артында цемент тастың болмауы; арналардың пайда болуы: цемент тасының ішінде, шегендеу тізбегі мен цемент тасының арасында, цемент тасы мен тау жыныстарының арасында; шегендеу тізбегінің артындағы нашар байланыс; микросаңылаулар; цемент тасының механикалық бұзылуы; цемент тасының химиялық бұзылуы болып келеді [4].

Мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылағаннан соң, борпылдақ құмды топырақтардан ұңғымалардың шегендеу бағаналарын қатайту кезеңдері басталады. Сонымен қатар, ұңғыма оқпанын зақымданудан, жер асты суларының агрессивті әсерінен, коррозиядан және басқа да әрекеттерден қорғау керек. Бұрын тампонажды цемент ерітіндісі қоспасында жеңіл кеуекті толтырғыш ретінде перлит, кеңейтілген саз, кеңейтілген вермикулит, пемза, лигниттер қолданылған. Бірақ көлемді тығыздау кезінде кеуекті толтырғыштардың беріктігі төмен болғандықтан, мұндай жеңіл ерітінділерді қолдану аясы шектеулі болды. Осыған байланысты материалдардың келесі түрлері кеңінен қолданыла бастады: алюминийсиликатты, шыны, керамикалық және көбік шыны микросфералар [6].

Цементтеу сапасына қойылатын заманауи талаптар тампонажды цемент ерітінділеріне арналған қоспалар шеңберін кеңейту және жаңа жоғары тиімді композицияларды әзірлеу қажеттілігін талап етеді, бұл өз кезегінде әртүрлі қоспалардың тампонажды цемент ерітінділерінің негізгі қасиеттеріне әсері туралы терең эксперименттік және коммерциялық зерттеулер жүргізуді талап етеді [5].

Тампонажды цемент тасының құрылымының бұзылуы себептеріне қарамастан, цемент сақинасының бұзылуын, ең алдымен, газдың миграциясына, құбыр аралық қысымдарға, грифондардың пайда болуына әкеліп соғады, бұл ұңғыманың жабылуына себеп болуы мүмкін. Осы кезде, динамикалық жүктемелер кезінде тампонажды тастың бүтіндігін қамтамасыз етуге бағытталған көптеген тампонажды ерітінділер, цементтің қатуын күту кезеңінде газдың өтуіне әрдайым төзімді емес. Газдың өнуі тастың қату құрылымында арналар қалыптастырып, оның беріктігін және соққыға төзімділігін төмендетуі мүмкін [6].

Пайдаланылатын тампонажды ерітінділердің сипаттамаларын жақсарту үшін әртүрлі қоспалары бар тампонаж қоспаларын дайындау технологиясы перспективалы болып көрінеді. Мысалы, шегендеу бағанасына жабысу өнімділігін, тампонажды ерітіндінің сапалы адгезиясын арттыру үшін авторлар мотор және өнеркәсіптік майлар өндірісінің сүзгіш саздарын қолдануды ұсынады [7].

Соңғы кездері мұнайгаз ұңғыларын игеру кезінде шикізат шығынын аз талап ететін және өнімділікті жоғары деңгейде беретін жаңа технологияларды қолдану және оны іске асыру бойынша көптеген ғылыми жобалар іске асырылуда. Мұнайгаз ұңғыларын шегендеу бағаналарын тампонажды ерітінділермен бекіту цементтеу, қиындықтар мен апаттардың жиілеуінен ұңғыларды пайдалану жұмыстарына кедергілер келтіруде.

Портландцемент, кальций оксиді және алюминий ұнтағы негізіндегі цементтасуілгілеріне жасалған сынақтардың нәтижелері алюминий қосылған кезінде иілу беріктігі өзгеріссіз мөлшерде, ал құрамына алюминий қосылмаған кальций оксиді бар цемент ерітіндісінен алынған тастың қысуберіктігі салыстырмалы түрде аздап төмендейді. Алюминий мөлшері массаның 0,3 бөліктен кем мөлшерінде 20 МПа-дан жоғары қысыммен қатаю кезінде тиімді әсер етпейді, ал 0,5-тен жоғары болса ерітінді тез қоюланады [8].

Айта кету керек, егер ерітінді сұйық күйде болса, онда газ ұңғымаға енбейді, бірақ тампонажды цемент ерітіндісі тасқа айналғаннан кейін де газ белсенді түрде ене алмайды. Қазақстан Республикасында кейбір кен орындарында бастапқы цементтеу кезіндегі сапасыздықтың бар екендігі анықталған. Ұңғыманың төменгі бөлігінде температура әрдайым ұңғы сағасына қарағанда жоғары болғандықтан, тампонажды цемент ерітіндісін қатайту процесі төменнен жоғарыға қарай жүретіндігі белгілі. Бұл жағдайда тампонажды цемент ерітіндісінің қатаюуының өзі газды кеніштің аймағында кезең-кезеңімен өтуін қамтамасыз ететіндігі дәлелденбеген [9].

Бентонит негізіндегі мотор майлары өндірісінің өңделген сазы жеңілдететін қоспа болып табылады, ал органикалық бөлігі асфальтендер, шайырлар және парафиндер адгезияға ықпал етеді және тампонажды қоспасының иілгіштік қасиеттерін береді. Пайдаланылған саз мөлшерін тампонажды қоспа құрамына 8%-дан астам мөлшерде ұлғайту тампонажды ерітіндінің шегендеу бағаналарындағы құбырдың металына яғни адгезиясының мөлшеріне айтарлықтай әсер етпейді [10].

Сонымен қатар, цемент тасының беріктігінің өзгеруіне әсер ететін қату жағдайлары мен цемент тасының құрамының өзгеруінің нәтижесі айқын көрінді. Бұл, өз кезегінде, тампонажды цемент тасының қату процесінің алғашқы апталарында гидратация процестері белсенді түрде жүріп жатқанына байланысты, олар бұзушы коррозиялық процестермен бәсекелесетіндігін байқауға болады [11].

Материалдар мен әдістер

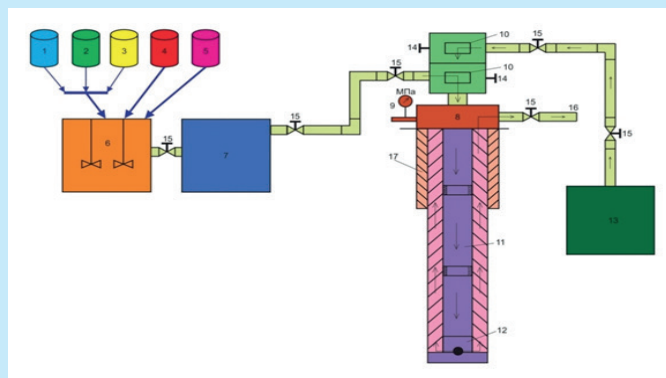
СЛ-1500 маркалы араластырғышымен тығындаушы тампонажды ерітіндіні дайындау, дайын ерітіндіні тығыздық өлшегіш пикнометрге құйып тығыздығын анықтаймыз, арықарай тығындаушы тампонажды ерітіндіміз

ді 40,1 x 40 x 160 мм 3 секциялы арқалық пішінді қалыпқа құйамыз, арқалық пішінді қалыпқа құйылған тампонаждық ерітіндімізді КУП-1 булау камерасында 24-сағат камера ішіндегі судың бетінде тұрса, 24-сағат су астында ұстаймыз. Барлығы 48-сағаттан кейін ИП-100 сынақ пресінің көмегімен тампонаждық цемент тасының иілумен беріктілігін анықтаймыз. Консистометр ЗМ-1002 маркалы құралымен тампонаждық ерітіндінің қоюулану уақытын анықтаймыз. МЕСТ 34532-2019 Тампонаждық цементтерді сынау әдістерінің Мемлекетаралық стандарты. Москва стандартинформ 2019 ж.

Нәтижелері және талқылау

Жүргізілген зерттеулерді зерделейтін болсақ жоғарыда әдебиеттік шолуларда келтірілген кемшіліктердің орнын толықтыруға болады. Бұл мақалада ПЦТ-1-G-CC-1 маркалы портландцемент, шегендеу бағаналарының сапалы тампонаждық ерітінділермен бекіту үшін отандық шикізат көздерінен алынған қоспаларды ұсынып отырмыз. Ол үшін мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасының құрамымен сапасын арттыру үшін алюмосиликатты микросфера, микрокремнезем МК-85 маркалы және кальций хлор ($CaCl$) қоспаларын қосу арқылы жеңілдетілген тампонажды ерітіндінің технологиясын жетілдіруді қарастырылды.

Мұнайгаз ұңғымаларының шегендеу бағаналарының бекіту үшін Шымкент қаласының индустриальды аймағында орналасқан жергілікті «HILL Corporation» ЖШС-нің мотор майлары өндірісінің қалдығы – ағартқыш саздың қатысында арнайы тампонаждық ерітінді қоспасы дайындалды, жүргізілген зерттеулер нәтижесі бойынша мұнайгаз ұңғымаларының шегендеу бағаналарын бекіту технологиялық сызбасы жасалынды (сурет 1).



1 – ПЦТ-1-G-CC-1 маркалы портландцемент; 2 – мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы; 3 – $CaCl$; 4 – алюмосиликатты микросфера; 5 – МК-85 маркалы микрокремнезем

Сурет 1. Мұнайгаз ұңғымаларының шегендеу бағаналарын бекіту технологиясының сызбасы.

Figure 1. Diagram of casing string fixing technology in oil and gas wells.

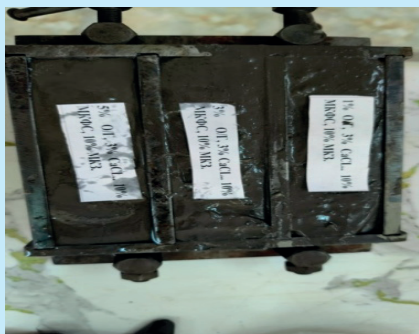
Рис. 1. Схема технологии крепления обсадных колонн нефтегазовых скважин.

Жоғарыда берілген сыйымдықтардан ПЦТ-1-G-CC-1 маркалы портландцемент (1), мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазын (2), $CaCl$ (3), микросфера (4) және микрокремнезем (5), араластырғышпен жабдықталған арнайы реакторға (6) белгіленген технологиялық жүйелерді ескере отырып, тампонажды қоспа дайындауға жібереміз. Дайындалған тампонажды ерітіндіні ысырманы (15) ашып, цементтеу агрегатына (7) жібереміз, бұл жерде жоғарғы қысымды сораптың көмегімен бұрғыланып дайындалған ұңғымаға тампонажды ерітіндіні кейінгі ысырмаларды (15) ашу арқылы, өткізгіш тығынға (10) дейінайдаймыз. Өткізгіш тығындағы (10) тампонажды ерітіндіні шегендеу бағаналарына (8) айдау үшін штоперді (14) ашамыз. Штопер (14) ашылғаннан кейін тампонажды ерітіндіні шегендеу бағаналарын (8) пайдалана отырып құбыраралық кеңістікке башмак (12) арқылы айдалады. Башмак (12) дейін келіп жеткен тампонажды ерітіндіге қысым беру үшін басу ерітіндісін (13) пайдалана отырып, шегендеу бағаналарына тампонажды ерітіндіні ары қарай айдаймыз. Осы уақытта ысырмаларды (15) ашып өткізгіш тығынға (10) қарай тампонажды ерітіндіні өткіземіз, бұл жерде штопердің (14) тығыны ашылып, ары қарай басу ерітіндісі (13) шегендеу бағаналарына келіп түседі. Бұл жерде басу ерітіндісіндегі (13) қысым арқылы тампонажды ерітіндімізді құбыр аралық кеңістікке (11) айдаймыз. Құбыраралық кеңістікке (11) жеткен тампонажды ерітіндіміз ұңғы сағасының бағыттаушыларына (17) дейін көтеріледі, ұңғы сағасындағы арнайы манометрдің (9) көмегімен шегендеу бағаналарына жіберілген тампонажды ерітіндінің қысымы бақыланып қаралады. Пайдаланушы құбыр (12) басындағы цементтеу тығыны (10) босатылып, тампонаждау ерітіндісі шегендеу бағаналарына жіберіледі; айдау құбыры тампонажды ерітіндісінің қалдықтарынан жуылады және «тоқтау» сәтіне дейін сұйықтықты айдауға кіріседі. Ал құбыраралық кеңістіктің бойындағы бұрғылау ерітінділерін қалдықты төгу құбыры (16) арқылы арнайы дренаждарға айдалады. Осылайша, пайдаланушы ұңғымалардағы шегендеуші бағаналарын сапалы тампонажды ерітінділердің көмегі арқылы ұңғыманың микро саңылауларын толықтай бекітіледі. Ұсынылып отырған құраммен алынаған тампонажды ерітінді газды кен орындардағы ұңғымалар үшін өте тиімді және сапалы болып табылады.

Жалпы, алынған тампонажды ерітінді шегендеу бағаналарын бекітудегі технологиялық процесте мұнай-газ ұңғымаларын тиімді пайдалануға ықпал етеді. Сонымен бірге, тампонажды ерітінді құрамына жергілікті өндіріс қалдықтарын қосу экологиялық және экономикалық тиімді болып табылады.

Тампонаж ерітінділеріне мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы және жоғарыдағы аталған қоспаларды қосудың нәтижесінде мұнай-газ ұңғыларындағы шегендеуші бағаналардың сапалығын арттырады. Жетілдірілген мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасының және реагенттердің нәтижелерін 1-кестеден көруге болады.

Келтірілген жаңа құрамды тампонажды ерітінділерді алу жұмыстары «Тампонаждық материалдары мен бұрғылау сұйықтықтарының қасиеттерін зерттеу» арнайы



Сурет 3. ИП-100 сынақ пресімен тампонаждық цемент тасын иілуге дайындау.

Figure 3. Preparation of cement stone for bending using the IP-100 testing press.

Рис. 3. Подготовка тампонажного цементного камня к изгибу с помощью испытательного пресса ИП-100.



Сурет 2. 40,1 x 40 x 160 мм өлшемді 3 секциялы арқалық пішінді қалып.

Figure 2. Beam-shaped mold with 3 sections measuring 40.1 x 40 x 160 mm.

Рис. 2. Балочная форма с 3-мя секциями размером 40,1 x 40 x 160 мм.

зертханасында жүргізілді. Жүргізілген эксперименттік зерттеулердің негізінде арнайы ыдыста дайындалған тампонаждық ертіндіні зертханалық жағдайда СЛ-1500 араластырғышына құйып, 3-минут уақыт көлемінде араластырып, дайын тампонажды ертіндіні қатты болаттан жасалған, (2-сурет) көлемі 40,1 x 40 x 160 мм ертінділерге арналған 3 секциялы арқалық пішінді қалыпқа құйып 48-сағат КУП-1 эмбебап булаукамерасында, +24 °C температурада ұсталады. Бұл жерде КУП-1 эмбебап булау камерасындағы жалпы 48 сағаттың 24 сағат уақытын булау камерасының ішіндегі судың жоғарғы бетінде құрғақ аймағында болса, қалған 24 сағат уақыты судың ішінде ұсталады. Жалпы алғанда, цемент тасының үлгісін беріктікке сынау 2-тәуліктік аралықта жүргізіледі. Берілген уақыт өткеннен кейін ИП-100 сынақ пресінде (сурет 3) тампонажды цемент тасының ең алдымен иілу деңгейі анықталды (сурет 4), алынған мәліметтерге сүйене отырып, иілудің көрсеткіштері бойынша жоғары қысымға (МПа) беріктілігін (сурет 5) 1-кестеден көруге болады.



Сурет 4. ИП-100 сынақ пресімен тампонаждық цемент тасын иілуден кейінгі нәтижесі.

Figure 4. Result of bending the cement stone using the IP-100 testing press.

Рис. 4. Результат изгиба тампонажного цементного камня с помощью испытательного пресса ИП-100.

ИП-100 сынақ пресінен алынған қысым туралы мәліметтер КПа-мен өлшенеді, оны әдістемелік нұсқаулықтарда [12] берілген формулаларға сүйеніп МПа-ға айналдырамыз.

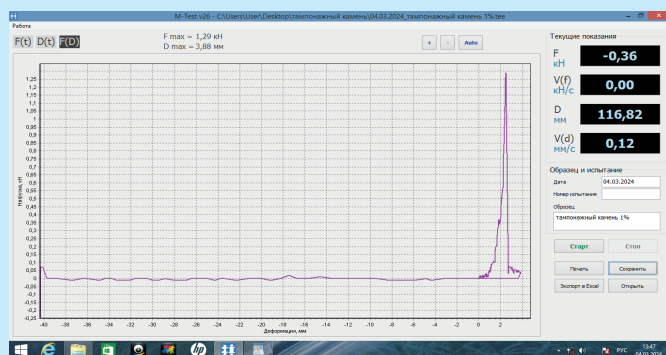
Тампонаждық цемент тасының иілу көрсеткіштері бойынша талдау мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасының иілуге төзімділігі қоспаның пайыздық мөлшерін жоғарылатқан сайын төмендейтінін байқауға болады.

Тампонаждық цемент тасының беріктілігі МЕМСТ 34532-2019 бойынша анықталды, бұл жерде (сурет 6) ИП-100 сынақ пресінің көмегі арқылы, тампонаждық цемент тасының бір бөлігін алып сығымдауға және сынауға арналған пластинаға салып оны престоу қажет. Престен алынған мәліметтер, яғни тампонаждық цемент тастың беріктігін есептеуді төмендегі 1-кестедегі рецептурадағы тампонаждық ертінділері бойынша сынақтан өткізілді. Су – цемент қатынасы 0,7-ге тең. Сынақтың барлығы портландцементпен және 10% микросфера, 10% микрокремнезем, 3% $CaCl$ тұрақты қоспа ретінде қосылса, ал мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы 1%, 3%, 5% мөлшерінде қосылып отырды.

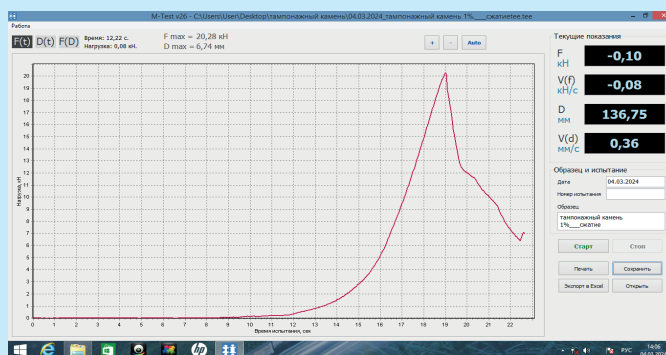
ИП-100 сынақ пресінен тампонаждық цемент тасының иілуден кейінгі екі жақ бөлігін біртіндеп беріктілікке төзімділігінанықтаймыз, жалпы алғанда ұсынылып отырған тампонаждық цемент тасының құрамдарының беріктілігін сынау нәтижелерінің көрсеткіштері 7-суретте көрсетілген.

Мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасының тампонаждық цемент ертіндісі қасиеттерінің әсерінің, сонымен қатар иілумен беріктіліктің және тығыздығының көрсеткіштерін кесте 1-ден көруге болады.

Өндірістік қалдықтарды қолдана отырып, алюмосиликатты микросфера, микрокремнезем МК-85 маркалы және кальций хлор ($CaCl$) қоспаларын, мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасына 1%, 3%, 5% пайыз көлемінде қосқан кезде тампонаж ертіндінің тығыздығы 1559-дан 1536-ға дейін төмендейтінін көрсетті.



Сурет 5. Цемент тасының иілу деңгейі.
Figure 5. Bending level of the cement stone.
Рис. 5. Уровень изгиба цементного камня.



Сурет 7. Цемент тасының беріктілігінің көрсеткіші.
Figure 7. Strength indicator of the cement stone.
Рис. 7. Показатель прочности цементного камня.



Сурет 6. ИП-100 сынақ пресімен цемент тасын беріктілікке дайындау.
Figure 6. Preparation of cement stone for strength testing using the IP-100 testing press.
Рис. 6. Подготовка цементного камня к испытанию на прочность с помощью испытательного прессы ИП-100.

Бұл жерде тығыздықтың айырмашылығының көп еместігін байқауға болады. Мысалыға, тампонаж цемент тасының иілуімен беріктілігін талдайтын болсақ, ММАӨС –қоспасын қосқан кездегі жүргізілген зерттеулерде иілудіңжәне беріктіліктің шегінің төмендегенің көруге болады, бұл МЕСТ талаптарына сәйкес келетіндігін анықталды.

Сонымен қатар 2-ші кестеде тампонаждық ерітінділердің су шығынын есептеу шамамен 100 см³ болатынын және оптимальды тұрақты уақыт 30 минут екендігін көруге болады. Бұл мәлімет, жоғарыдағы көрсетілген қоспалардағы судың құрамын қосымша реттеуді қажет етпейтіндігін көрсетті. Мысалы, тампонаждық цемент ерітіндісінің көрсетілген 1%, 3%, 5% бойынша қату уақытында айырмашылық бар екендігін зерттеу барысында нақтыланды, бұл жерде ең тиімдісі 5% және 3% пайыздық суөткізу көрсеткіштерін тұрақты және тампонаждықцемент ерітіндісінің шартты тұтқұрлығы 25–23 см-ге дейін төмендегенің, сондай-ақ ерітіндінің қату уақыты 5-сағатпен 6,30 минут аралығында болатындығы анықталды.

9-суреттен көрсетілгендейконсистометр ZM-1002 қоюлану уақытын анықтауға арналған құралдың көмегімен мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазының құрамына МК-85 МКР, АМКС, *CaCl* қоспаларын қосу кезінде айдау уақытының қысқартылатынын көруге болады.

Кесте 1

Мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасының тампонаж ерітіндісі мен тасына қасиеттерінің әсері

Table 1

Effect of bleaching clay additive from motor oil production on the properties of cement slurry and stone

Таблица 1

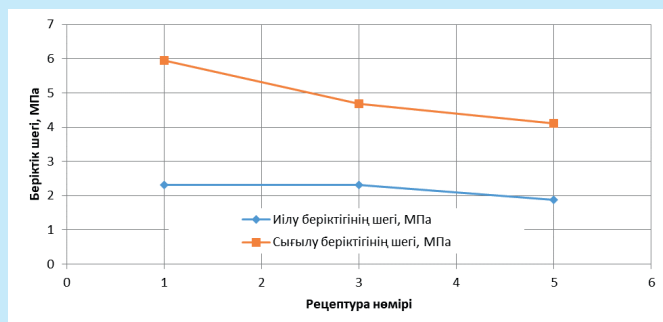
Влияние добавки отбеливающей глины из производства моторных масел на свойства тампонажного раствора и камня

Құрамы	С/Ц	Тығыздығы, г/м ³	Иілу кезіндегі беріктік шегі, МПа	Сығылу беріктігінің шегі, МПа
			2 тәулік	2 тәулік
Қоспасыз ПЦТ	0,7	1,733	1,6	3,30
Мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы				
ПЦТ + 1% ММӨАС, 10% МКР, 10% АМКС, 3% <i>CaCl</i>	0,7	1,559	2,31	5,94
ПЦТ + 3% ММӨАС, 10% МКР, 10% АМКС, 3% <i>CaCl</i>	0,7	1,552	2,32	4,68
ПЦТ + 5% ММӨАС, 10% МКР, 10% АМКС, 3% <i>CaCl</i>	0,7	1,536	1,88	4,10

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде қысымның айырмашылығы көп еместігі байқалды, мұнайгаз ұңғыларының шегендеу бағаналарын бекіту үшін тампонажды ерітінді құрамына қосылатын жергілікті мотор майы өндірісінің ағартқыш сазын кәдеге асыруға болатынын анықталды.

Қорытынды

Авторлар мұнай және газ ұңғымаларындағы шегендеу бағаналарын бекіту үшін тампонаждық ерітіндінің жаңа құрамына байланысты аналитикалық шолу жасалды. «Тампонаждық материалдармен бұрғылау сұйықтықтарының қасиеттерін зерттеу» ғылыми-зерттеу зертханасында жүргізілген жұмыс нәтижелеріне сүйене отырып, эксперименттік



Сурет 8. ММӨАС әртүрлі концентрациясындағы цемент тасының иілуімен беріктілігінің графигі.
Figure 8. Graph of cement stone strength and bending at different concentrations of IBCMO.
Рис. 8. График прочности и изгиба цементного камня при различных концентрациях ПОДММ.

Кесте 2

Мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы қоспасымен тампонаждық цемент ерітінділерімен қасиеттеріне әсері

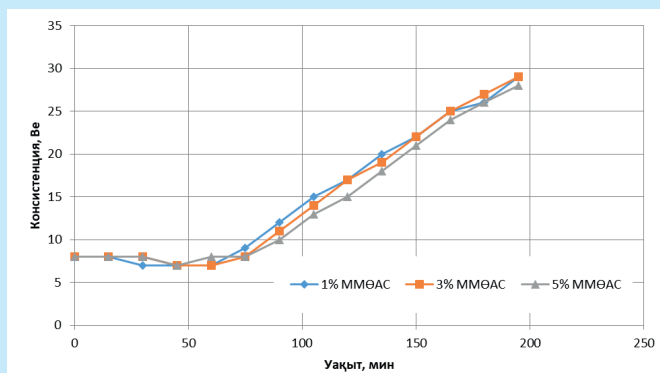
Table 2

Effect of bleaching clay additive from motor oil production on the properties of cement slurries for well cementing

Таблица 2

Влияние добавки отбеливающей глины из производства моторных масел на свойства тампонажных цементных растворов

Құрамы	Тығыздығы г/см ³	Су бергіштік см ³ /30 мин	Шартты тұтқұрлық, см	Қату уақытының басталуы, с-мин	Қату уақытының аяқталуы, с-мин
Мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазы					
ПЦТ + 1% ММӨАС, 10% МКР, 10% АМКС, 3% CaCl	1,559	109,6	25	4,10	6,30
ПЦТ + 3% ММӨАС, 10% МКР, 10% АМКС, 3% CaCl	1,552	101,2	24	3,45	5,15
ПЦТ + 5% ММӨАС, 10% МКР, 10% АМКС, 3% CaCl	1,536	100,4	23	3,10	5,05



Сурет 9. Мотор майлары өндірісінің ағартқыш сазының концентрациясының тампонаждық ерітіндінің айдалу ұзақтылығы.
Figure 9. Pumping duration of the cement slurry depending on the concentration of bleaching clay from motor oil production.
Рис. 9. Продолжительность закачки тампонажного раствора в зависимости от концентрации отбеливающей глины из производства моторных масел.

Рис. 9. Продолжительность закачки тампонажного раствора в зависимости от концентрации отбеливающей глины из производства моторных масел.

зерттеулер нәтижесі бойынша, мұнайгаз ұңғымаларының шегендеу бағаналарын бекітудің тиімді технологиясының сызбасы жасалынды, сонымен қатар, тампонаждық ерітінділердің дайындалу әдістерімен рецептураларына тоқталып, тампонажды цемент тасының беріктілігімен мен иілуін анықтау барысында оң нәтижесін көрсетті. Мотор майы ағартқыш сазын кәдеге асыру кезіндегі артықшылығы тампонажды ерітіндінің таралуының МЕСТ талаптарына сәйкес келетіндігін және айдау уақытының жоғары көрсеткішке ие болатынымен анықталды. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, тампонажды ерітінді құрамын мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде шегендеу бағаналарын бекіту мақсатында пайдалануға болады деген болжам жасалды.

Алғыс

Бұл зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің бағдарламаны орындау шеңберінде орындалды (BR24992809-Парафинді мұнайды өндіру, дайындау және тасымалдау үшін жергілікті шикізатты пайдалана отырып, жаңа химиялық реагенттер алу).

Қаржыландыру: бұл зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің (BR24992809) қолдауымен жүргізілді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Пластификаторлардың полиэлектролиттік реагенттері бар тампонаж ерітінділеріне әсері / Азамов Ф.А. [және т. б.] // Мұнай және газ. 2019. № 3 (111). Б. 76–86 (орыс тілінде)
2. Аралық қабаттардағы қысымды бақылау және жою / Кабдушев А. [және т. б.] // ҚР мұнайгаз саласының хабаршысы. 2023. Т. 5 (3). Б. 85–90 (ағылшын тілінде)
3. Ұңғылардың құбыр тізбегін бекітуге арналған тампонаж ерітіндісі / Бимбетова Г.Ж. [және т. б.] // Мұнай және газ. 2023. № 4 (136). Б. 68–80 (орыс тілінде)
4. Күрделі бейінді ұңғымаларды бұрғылауға арналған бұрғылау шайма сұйықтығын әзірлеу / Надиров К.С. [және т. б.] // КазНИТУ Хабаршысы. 2019. № 3. Б. 512–516 (орыс тілінде)

5. Ұңғыманың шегендеу бағандарын бекітуге арналған тампонажды ерітінді / Кембаев А.Р. [және т. б.] // Мұнай және газ. 2025. № 1 (145). Б. 222–235 (орыс тілінде)
6. Ұңғыма құрылысына арналған деформацияға төзімді цементтің микроқұрылымдық талдауы / Қабдушев А. [және т. б.] // Құрылыс саласындағы нанотехнологиялар. 2023. № 15 (6). Б. 564–573 (ағылшын тілінде)
7. Күрделі бейінді ұңғымаларды бұрғылауға арналған шайма сұйықтығын дайындау мәселесі жөнінде / Надиров К.С. [және т. б.] // КазННТУ Хабаршысы. 2019. № 5. Б. 413–416 (орыс тілінде)
8. Кеңейтілгіш қоспалары бар тампонаж материалдарының қасиеттеріне арматуралаудың әсерін зерттеу / Қабдушев А.А. [және т. б.] // Сәтбаев Университеті. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2023. Т. 2 (458). Б. 108–117 (ағылшын тілінде)
9. Қабдушев А.А., Ағзамов Ф.А., Манапбаев Б.Ж., Деликешова Д.Н., Қорғасбеков Д.Р. (2023 жылғы шілде – тамыз). Газ ұңғымаларын аяқтау үшін сараланған қасиеттері бар цементтерді зерттеу және әзірлеу. Қазақстан Республикасы Ғылым Академиясының Хабаршысы. <http://www.geolog-technical.kz/assets/20234/8.%2097-108.pdf> (ағылшын тілінде)
10. Пайдалы үлгідегі № 9340 ұңғыманың қаптамасын бекітуге арналған цементтеу ерітіндісі / Кембаев А.Р., Бимбетова Г.Ж., Кубелева У.Д., Надирова Ж.К., Жантасов М.Қ., Қабдушев А.А., Батыр Г.Ж.; Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ, 05.07.2024 ж. (орыс тілінде)
11. Ағзамов Ф., Қабдушев А., Тоқунова Е. Манапбаев Б., Қожаселді Б. (2020). Тығындырғыш материалдардың магнезиялы коррозиясы. Химия журналы. <http://www.deboni.he.com.br/Periodico34.pdf> (ағылшын тілінде)
12. ГОСТ 34532-2019: Халықаралық мемлекеттік стандарт. Тампонаждық цементтерге қойылатын талаптар. Сынау әдістері. М., 2019 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Vlijanie plastifikatorov na tamponazhnye rastvory s polielektrolitnymi reagentami [The influence of plasticizers on cement slurries with polyelectrolyte reagents], Agzamov F.A. [et al.], Neft' i gaz [Oil and Gas]. 2019. No. 3 (111). 76–86 pp. (in Russian)
2. Monitoring and elimination of intercasing pressurization / Kabdushev A. [et al.] // NPF Bulletin of the Oil and Gas Industry of Kazakhstan 2023. V. 5 (3). 85–90 pp. (in English)
3. Tamponazhnyj rastvor dlya kreplenija obsadnoj kolonny skvazhiny [Cementing slurry for fixing well casing], Bimbetova G.Zh. [et al.], Neft' i gaz [Oil and Gas]. 2023. No. 4 (136). 68–80 pp. (in Russian)
4. Razrabotka burovoj promyvochnoj zhidkosti dlya burenija skvazhin slozhnogo profilja [Development of drilling fluid for drilling wells of complex profile], Nadirov K.S. [et al.], Vestnik KazNITU [Bulletin of KazNITU]. 2019. No. 3. 512–516 pp. [In Russian]
5. Tamponazhnyj rastvor dlya kreplenija obsadnoj kolonny skvazhiny [Cement slurry for fastening the well casing], Kembraev A.R. [et al.], Neft' i gaz [Oil and Gas]. 2025. No. 1 (145). 222–235 pp. [In Russian]
6. Microstructural analysis of strain-resistant cement designed for well construction / Kabdushev A. [et al.] // Nanotechnologies in construction. 2023. No. 5 (6). 564–573 pp. (in English)
7. K voprosu razrabotki promyvochnoj zhidkosti dlya burenija skvazhin slozhnogo profilja [On the issue of developing drilling fluid for drilling wells of complex profile], Nadirov K.S. [et al.], Vestnik KazNITU [Bulletin of KazNITU]. 2019. No. 5. 413–416 pp. (in Russian)
8. Styding the effect of reinforcement on the properties of plugging materials with expanding additives / Kabdushev A.A. [et al.] // Satbayev University. Series of Geology and Technical sciences. 2023. V. 2 (458). 108–117 pp. (in English)
9. Kabdushev A.A., Agzamov F.A., Manapbaev B.Zh., Delikeshova D.N., Korgasbekov D.R. (July – August 2023). Research and development of cements with differentiated properties for completion of gas wells. Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. <http://www.geolog-technical.kz/assets/20234/8.%2097-108.pdf> (in English)
10. Tamponazhnyj rastvor dlya kreplenija obsadnoj kolonny skvazhiny № 9340 na poleznuyu model' [Cementing slurry for fastening the casing of well No. 9340 for utility model], Kembraev A.R., Bimbetova G.Zh., Kubeleva U.D., Nadirova Zh.K., Zhantasov M.K., Kabdushev A.A., Batyr G.Zh.; RGP «Natsional'nyi institut intellektual'noi sobstvennosti» Ministerstva yustitsii Respubliki Kazakhstan, 05.07.2024 [RSE «National Institute of Intellectual Property» of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, 05.07.2024] (in Russian)
11. Agzamov F., Kabdushev A., Tokunova E. Manapbaev B., Kozhageldi B. (2020). Magnesia corrosion of plugging materials. Journal of Chemistry. <http://www.deboni.he.com.br/Periodico34.pdf> (in English)
12. GOST 34532-2019. Mezhdunarodnyj gosudarstvennyj standart. Cementy tamponazhnye. Metody ispytaniya [International State Standard. Cement cements. Test methods], Moscow, 2019. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Влияние пластификаторов на тампонажные растворы с полиэлектролитными реагентами / Агзамов Ф.А. [и др.] // Нефть и газ. 2019. № 3 (111). С. 76–86 (на русском языке)
2. Мониторинг и устранение межколонного давления / Кабдушев А. [и др.] // НПЖ Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2023. Т. 5 (3). С. 85–90 (на английском языке)
3. Тампонажный раствор для крепления обсадной колонны скважины / Бимбетова Г.Ж. [и др.] // Нефть и газ. 2023. № 4 (136). С. 68–80 (на русском языке)
4. Разработка буровой промывочной жидкости для бурения скважин сложного профиля / Надиров К.С. [и др.] // Вестник КазНУ. 2019. № 3. С. 512–516 (на русском языке)
5. Тампонажный раствор для крепления обсадной колонны скважины / Кембаев А.Р. [и др.] // Нефть и газ. 2025. № 1 (145). С. 222–235 (на русском языке)
6. Микроструктурный анализ цемента, устойчивого к деформациям, предназначенного для строительства скважин / Кабдушев А. [и др.] // Нанотехнологии в строительстве. 2023. № 15 (6). С. 564–573 (на английском языке)
7. К вопросу разработки промывочной жидкости для бурения скважин сложного профиля / Надиров К.С. [и др.] // Вестник КазНУ. 2019. № 5. С. 413–416 (на русском языке)
8. Изучение влияния армирования на свойства тампонажных материалов с расширяющими добавками / Кабдушев А.А. [и др.] // Университет им. Сапиева. Серия «Геология и технические науки». 2023. Т.2 (458). С. 108–117 (на английском языке)
9. Кабдушев А.А., Агзамов Ф.А., Манапбаев Б.Ж., Деликешова Д.Н., Коргасбеков Д.Р. (июль – август 2023). Исследование и разработка цементов с дифференцированными свойствами для завершения газовых скважин. Вестник Академии наук Республики Казахстан. <http://www.geolog-technical.kz/assets/2023/4/8.%2097-108.pdf> (на английском языке)
10. Тампонажный раствор для крепления обсадной колонны скважины № 9340 на полезную модель / Кембаев А.Р., Бимбетова Г.Ж., Кубелекова У.Д., Надирова Ж.К., Жантасов М.К., Кабдушев А.А., Батыр Г.Ж.; РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» Министерства юстиции Республики Казахстан, 05.07.2024 (на русском языке)
11. Агзамов Ф., Кабдушев А., Токунова Э., Манапбаев Б., Кожгагельди Б. (2020). Магnezияльная коррозия тампонажных материалов. Журнал Химии. <http://www.deboni.he.com.br/Periodico34.pdf> (на английском языке)
12. ГОСТ 34532-2019: Международный государственный стандарт. Цементы тампонажные. Методы испытания. М., 2019 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Кембаев А.Р., «Мұнайгаз ісі» кафедрасының Ph.D докторанты, М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), aidos_kem@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3876-313X>

Бимбетова Г.Ж., т.ғ.к., профессор «Мұнайгаз ісі» кафедрасының профессоры, М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), gulmnaz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1859-5551>

Отарбаев Н.Ш., Ph.D аға оқытушы «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістер технологиясы» кафедрасы, М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), otarbayevn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1914-398X>

Бекенов Р.М., аға оқытушы «Мұнай, газ және тау кен ісі» кафедрасы Қазақ ұлттық суаруашылығы және ирригация университеті КеАҚ (Тараз қ., Қазақстан), bekenov.ruslan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0396-0587>

Information about the authors:

Kembayev A.R., Ph.D doctoral of the Department «Oil and gas business» Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

Bimbetova G.Zh., candidate of technical sciences, professor, Professor of the Department of «Oil and gas business», Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan) <https://orcid.org/0000-0003-1859-5551>

Otarbayev N.Sh., Ph.D, associate professor of the department «Technology of inorganic and Petrochemical Productions» Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

Bekenov R.M., Senior Lecturer Department of «Oil, gas and mining» Kazakh National University of water management and irrigation (Taraz, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Кембаев А.Р., Ph.D докторант кафедры «Нефтегазовое дело», НАО Южно-Казахстанский университет им. М.О. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Бимбетова Г.Ж., к.т.н. профессор кафедры «Нефтегазовое дело», НАО Южно-Казахстанский университет им. М.О. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Отарбаев Н.Ш., Ph.D, ст. преподаватель кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», НАО Южно-Казахстанский университет им. М.О. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Бекенов Р.М., ст. преподаватель кафедры «Нефтегазовое и горное дело», НАО Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации (г. Тараз, Казахстан)

Код МРНТИ 87.17.91

*А.М. Сариева, Н.Р. Тауова, М. Бержанова, А. Сакпарова
Атырауский университет им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ H_2S В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ АТЫРАУ В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕГО СЕЗОНА

Аннотация. Сероводород остается одним из ключевых индикаторов экологического неблагополучия в промышленных регионах. Его повышенные концентрации фиксируются преимущественно вблизи источников выбросов, что требует системного подхода к оценке качества атмосферного воздуха. Актуальность данного исследования связана с необходимостью анализа уровня загрязнения воздуха сероводородом в зимний период, когда неблагоприятные метеословия способствуют его накоплению. Научная новизна работы состоит в комплексном анализе содержания сероводорода в атмосфере Атырау зимой 2024–2025 гг. с применением современных методов мониторинга. Результаты позволяют выявить сезонные особенности распределения загрязнения и определить основные источники, что важно для экологического контроля и охраны здоровья населения.

Ключевые слова: сероводород, атмосферный воздух, максимально разовая концентрация, предельно-допустимая концентрация, мониторинг.

Қысқы кезеңдегі Атырау қаласының атмосфералық ауасындағы H_2S -тің кеңістіктік таралуын зерттеу

Аңдатпа. Күкіртсутек – өнеркәсіптік аймақтардағы экологиялық қолайсыздықтың негізгі көрсеткіштерінің бірі. Оның жоғары мөлшері әдетте шығарындылар көздерінің жанында байқалады, бұл атмосфералық ауаның сапасын кешенді бағалауды қажет етеді. Зерттеудің өзектілігі – қыс мезгілінде күкіртсутекпен ластану деңгейін анықтау қажеттілігімен байланысты, себебі қолайсыз метежағдайлар газдың жерге жақын қабатта жиналуына әсер етеді. Ғылыми жаңалығы – 2024–2025 жылдардағы қысқы кезеңде Атырау қаласының ауасындағы күкіртсутекке кешенді талдау жүргізіліп, заманауи мониторинг әдістері қолданылды. Нәтижелер ластанудың маусымдық сипатын анықтап, негізгі көздерін көрсетуге мүмкіндік береді, бұл экологиялық бақылау мен халық денсаулығын қорғау үшін маңызды.

Түйінді сөздер: күкіртсутек, атмосфералық ауа, максималды бір реттік концентрация, шекті рұқсат етілген концентрация, мониторинг.

Study of the spatial distribution of H_2S in the atmospheric air of Atyrau during the winter season

Abstract. Hydrogen sulfide remains one of the key indicators of environmental distress in industrial regions. Elevated concentrations are typically recorded near emission sources, which necessitates a systematic approach to assessing air quality. The relevance of this study lies in the need to analyze hydrogen sulfide pollution levels during the winter period, when unfavorable meteorological conditions contribute to its accumulation in the lower atmospheric layers. The scientific novelty of the work consists in a comprehensive analysis of hydrogen sulfide content in the atmosphere of Atyrau during the winter of 2024–2025, using modern monitoring methods. The results make it possible to identify seasonal patterns of pollution distribution and determine the main sources, which is essential for environmental control and public health protection.

Key words: hydrogen sulfide, atmospheric air, maximum one-time concentration, maximum allowable concentration, monitoring.

Введение

В современных условиях техногенного развития охрана атмосферного воздуха является одной из приоритетных задач экологической безопасности. Особенно остро проблема загрязнения воздуха стоит в промышленных районах, где деятельность предприятий топливно-энергетического комплекса оказывает значительное влияние на состояние окружающей среды. Несмотря на наличие технологических решений по утилизации сероводорода, на практике данный загрязнитель часто не удаляется в полной мере, что обусловлено как технологическими, так и экономическими ограничителями. Это приводит к накоплению сероводорода в приземном слое атмосферы, особенно вблизи крупных промышленных зон.

На этих уровнях сероводород практически не оказывает вредного влияния на организм человека. Его запах может быть либо вовсе неуловим, либо едва различим. Это безопасные концентрации, характерные для фоновового уровня в неиндустриальных районах. Симптомы отсутствуют.

В этой зоне появляются первые признаки физиологического дискомфорта: раздражение слизистых оболочек глаз и носа, легкое першение в горле. Особенно чувствительные люди могут жаловаться на головную боль или слабость. Длительное пребывание при таких концентрациях не рекомендуется.

Воздействие таких концентраций приводит к выраженному раздражению дыхательных путей, кашлю, головной боли, снижению работоспособности. Возможны тошнота и головокружение. При длительном или регулярном вдыхании таких доз возможны нарушения в работе центральной нервной системы.

Таблица 1
Слабые концентрации H_2S в атмосферном воздухе, мг/м³
Кесте 1

Атмосфералық ауадағы H_2S -тің әлсіз
концентрациялары, мг/м³

Table 1
Low concentrations of H_2S in atmospheric air, mg/m³

Концентрации H_2S в атмосферном воздухе, мг/м ³	Влияние на человека и описание токсического действия
Менее 0,005	Запах практически не ощутим; концентрация ниже порога обоняния. Не оказывает вредного воздействия
0,005–0,01	Слабый запах тухлых яиц, различим только особо чувствительным людям. Безопасен при кратковременном воздействии
0,01–0,03	Легко различимый запах. Не оказывает значительного воздействия при кратковременном воздействии

Очень сильное и опасное воздействие, представляет серьезную опасность для здоровья и жизни. Быстро наступает токсическое воздействие: потеря сознания, судороги, паралич дыхания. При высоких дозах возможна смерть в течение нескольких минут.

Таблица 2
Умеренные концентрации H_2S в атмосферном воздухе, $мг/м^3$

Кесте 2
Атмосфералық ауадағы H_2S -тің орташа концентрациялары, $мг/м^3$

Table 2
Moderate concentrations of H_2S in atmospheric air, mg/m^3

Концентрации H_2S в атмосферном воздухе, $мг/м^3$	Влияние на человека и описание токсического действия
0,03–0,2	Сильный, неприятный запах тухлых яиц. Возможны легкие раздражения слизистых оболочек глаз и носа у чувствительных людей
0,3–1,5	Явное раздражение глаз, носа, горла. Возможно головокружение и тошнота при длительном воздействии
1,5–5,0	Раздражение слизистых усиливается, может возникать кашель, головная боль. При длительном воздействии – нарушение в работе ЦНС

Таблица 3
Сильные концентрации H_2S в атмосферном воздухе, $мг/м^3$

Кесте 3
Атмосфералық ауадағы H_2S -тің жоғары концентрациялары, $мг/м^3$

Table 3
High concentrations of H_2S in atmospheric air, mg/m^3

Концентрации H_2S в атмосферном воздухе, $мг/м^3$	Влияние на человека и описание токсического действия
5,0–10,0	Значительное раздражение глаз и дыхательных путей. Возможны нарушения дыхания, координации движения
10–50	Тошнота, головокружение, сильный кашель. Возможна потеря сознания при длительном воздействии
50–150	Потенциально опасная зона: быстро наступает головокружение, спутанность сознания, потеря равновесия
150–300	Резко выраженная токсичность. Потеря сознания, судороги, возможна остановка дыхания через 30–60 минут

Таблица 4
Очень сильные концентрации H_2S в атмосферном воздухе, $мг/м^3$

Кесте 4
Атмосфералық ауадағы H_2S -тің өте жоғары концентрациялары, $мг/м^3$

Table 4
Very high concentrations of H_2S in atmospheric air, mg/m^3

Концентрации H_2S в атмосферном воздухе, $мг/м^3$	Влияние на человека и описание токсического действия
300–700	Крайне опасная зона: быстрая потеря сознания, возможен летальный исход при воздействии более 30 минут
Более 700	Мгновенная потеря сознания, паралич дыхательного центра, возможен летальный исход в течение нескольких минут

Материалы и методы

Исследования содержания сероводорода (H_2S) в атмосферном воздухе города Атырау в зимний период 2024–2025 гг. проводилось в соответствии с методическими указаниями по контролю за качеством атмосферного воздуха и санитарно-гигиеническими нормативами Республики Казахстан.

Отбор проб атмосферного воздуха осуществлялся в период с декабря 2024 года по февраль 2025 года на территории г. Атырау, включая как жилые районы, так и промышленные зоны, расположенные вблизи потенциальных источников выбросов.

Обработка данных осуществлялась с применением методов описательной статистики: вычисление средних значений, диапазонов колебаний, а также отклонений от предельно допустимых концентраций (ПДК). В качестве нормативной базы использовались значения ПДК, утвержденные санитарными правилами и нормативами Республики Казахстан, согласно которым предельно допустимая разовая концентрация сероводорода составляет 0,008 $мг/м^3$, а среднесуточная – 0,003 $мг/м^3$.

В Атырауской области располагается 74 предприятия первой категории: в контексте экологического законодательства Казахстана, в частности Экологического кодекса РК, это объекты, оказывающие наибольшее воздействие на окружающую среду. Наличие 74 предприятий первой категории говорит о высокой индустриальной нагрузке на регион и потенциальных экологических рисках. Это соответствует нефтегазовому профилю региона и объясняет высокие уровни загрязнения, включая выбросы сероводорода.

В декабре 2024 года в г. Атырау был проведен мониторинг атмосферного воздуха на содержание сероводорода по пяти контрольным точкам. В таблице представлены координаты измерений, значения средних и максимально разовых концентраций, а также кратность превышения предельно допустимой концентрации (м.р.).

Таблица 5
Предприятия в Атырауской области

Кесте 5

Атырау облысындағы кәсіпорындар

Table 5

Enterprises in Atyrau region

Наименование предприятия	Вид деятельности	Местоположение
ТОО «Тенгиз-шевройл»	Добыча нефти и газа	г. Атырау; месторождение Тенгиз – на западе Казахстана, вдоль северо-восточного побережья Каспийского моря
ТОО «Эмба-найтас»	Разведка и добыча углеводородов	г. Атырау; более 40 месторождений, включая Доссор, Байчунас, Кенбай, Таскундук и т. д.
Атырауский нефтеперерабатывающий завод	Переработка нефти	г. Атырау
ТОО «Рауан-Налко»	Химическая промышленность	г. Атырау
ТОО «Промэкология»	Сбор опасных отходов	Жылыойский район
ТОО «Светланд-Ойл»	Добыча углеводородного сырья	г. Атырау
ТОО «Эко-Техникс»	Сбор опасных отходов	г. Атырау
ТОО «УБСК»	Геологоразведка	г. Атырау

Таблица 6

Точки отбора проб для мониторинга качества атмосферного воздуха г. Атырау

Кесте 6

Атырау қаласының атмосфералық ауасының сапасын бақылауға арналған сынама алу нүктелері

Table 6

Sampling points for monitoring the air quality in the city of Atyrau

Координаты измерений	Проведение наблюдений
47.125270, 51.870350	Трижды в сутки, ручной отбор проб
47.066555, 51.886817	Трижды в сутки
47.114208, 51.861080	В непрерывном режиме – каждые 20 минут
47.119721, 51.927834	В непрерывном режиме – каждые 20 минут
48.555353, 51.742215	В непрерывном режиме – каждые 20 минут

Результаты

Таблица 7

Результаты мониторинга качества атмосферного воздуха г. Атырау за декабрь 2024 г.

Кесте 7

2024 жылғы желтоқсандағы Атырау қаласының ауа сапасының мониторингінің қорытындысы

Table 7

Results of monitoring the air quality of the city of Atyrau for December 2024

Координаты измерений	Средняя концентрация	Максимально разовая концентрация	Кратность ПДК (м.р.)
47.125270, 51.870350	0,0014	0,008	1
47.066555, 51.886817	0,0014	0,009	1
47.114208, 51.861080	0,0014	0,008	1
47.119721, 51.927834	0,0	0,0	0
48.555353, 51.742215	0,0010	0,0705	8,8



Рис. 1. Средние и разовые концентрации сероводорода, а также кратность превышения ПДК в атмосферном воздухе г. Атырау в декабре 2024 года.

Сурет 1. 2024 жылғы желтоқсандағы Атырау қаласының атмосфералық ауасындағы күкіртсутек концентрациясы және ШРК-ның асу көрсеткіші.
Figure 1. Average and peak concentrations of hydrogen sulfide and the exceedance of MPC in the atmospheric air of Atyrau in December 2024.

В точках 1, 2 и 3 (координаты: 47.125270, 51.870350; 47.066555, 51.886817; 47.114208, 51.861080) зафиксированы одинаковые средние концентрации сероводорода – 0,0014 мг/м³, а максимальные разовые значения составили 0,008–0,009 мг/м³. Это соответствует 1-кратной ПДК м.р., установленной в Казахстане (0,008 мг/м³), то есть превышения допустимых норм не наблюдается. В точке 4 (47.119721, 51.927834) зафиксированы нулевые значения

как по средней, так и по разовой концентрации сероводорода, что свидетельствует о благоприятной экологической ситуации в этом районе.

Наиболее тревожные показатели были зафиксированы в точке 5 (48.555353, 51.742215). Средняя концентрация здесь составила 0,0010 мг/м³, что ниже среднесуточной ПДК, однако максимальная разовая концентрация достигла 0,0705 мг/м³, что превышает допустимый уровень в 8,8 раза. Это может свидетельствовать о локальном выбросе сероводорода в атмосферу и требует оперативного экологического контроля и принятия мер по выявлению источника загрязнения.

Таблица 8

Результаты мониторинга качества атмосферного воздуха г. Атырау за январь 2025 г.

Кесте 8

2025 жылғы қаңтардағы Атырау қаласындағы ауа сапасының мониторингінің қорытындысы

Table 8

Results of air quality monitoring in Atyrau for January 2025

Координаты измерений	Средняя концентрация	Максимально разовая концентрация	Кратность ПДК (м.р.)
47.125270, 51.870350	0,0011	0,009	1,1
47.066555, 51.886817	0,0013	0,010	1,2
47.114208, 51.861080	0,0011	0,008	1,1
47.119721, 51.927834	0,0010	0,0030	0,38
48.555353, 51.742215	0,0010	0,0010	0,1



Рис. 2. Средние и разовые концентрации сероводорода в атмосферном воздухе г. Атырау в январе 2025 года.

Сурет 2. 2025 жылғы қаңтардағы Атырау қаласының атмосфералық ауасындағы күкіртсутектің орташа және бір жолғы концентрациясы.

Figure 2. Average and one-time concentrations of hydrogen sulfide in the atmospheric air of the city of Atyrau in January 2025.

В январе 2025 года в г. Атырау были проведены очередные наблюдения за качеством атмосферного воздуха с акцентом на содержание сероводорода (H_2S). Мониторинг охватывал пять контрольных точек, где были зафиксированы значения средней концентрации, максимально разовой концентрации и рассчитана кратность превышения предельно допустимой концентрации по максимально разовому показателю (ПДК м.р.).

По результатам измерений, в точках 1, 2 и 3 (координаты: 47.125270, 51.870350; 47.066555, 51.886817; 47.114208, 51.861080) были зафиксированы средние концентрации сероводорода на уровне 0,0011–0,0013 мг/м³. Максимально разовые концентрации в этих точках составили от 0,008 до 0,010 мг/м³, что превышает установленную в Казахстане ПДК м.р. (0,008 мг/м³) на 10–20%. Кратность превышения составляет от 1,1 до 1,2. Это говорит о незначительном, но зафиксированном превышении допустимых уровней сероводорода, что требует регулярного контроля и анализа источников выброса.

В точке 4 (47.119721, 51.927834) средняя концентрация составила 0,0010 мг/м³, а максимальная разовая – 0,0030 мг/м³. Это значение составляет лишь 0,38 от максимально допустимого уровня, что указывает на отсутствие загрязнения и соответствие нормам.

В точке 5 (48.555353, 51.742215) зафиксированы минимальные значения: средняя концентрация – 0,0010 мг/м³, а максимальная разовая – 0,0010 мг/м³, что составляет всего 0,1 кратности ПДК. Это также подтверждает стабильную экологическую ситуацию в данной зоне.

Диаграмма, представленная ниже таблицы, наглядно отображает распределение концентраций по контрольным точкам. Видно, что первые три точки демонстрируют превышение по максимально разовой концентрации (выделено серыми столбцами), тогда как точки 4 и 5 остаются в пределах нормативных значений. Средние концентрации сероводорода по всем точкам остаются на низком уровне и не вызывают экологических рисков.

Таким образом, по результатам мониторинга за январь 2025 года можно сделать вывод, что в большинстве точек наблюдений превышения ПДК м.р. носили незначительный характер, но требуют дальнейшего наблюдения, особенно в районах, где концентрации H_2S приближаются или незначительно превышают допустимые значения.

В феврале 2025 года в городе Атырау продолжился мониторинг состояния атмосферного воздуха на содержание сероводорода (H_2S). Результаты наблюдений, представленные в таблице 9, охватывают пять точек контроля с указанием координат, значений средней и максимально разовой концентрации, а также кратности превышения предельно допустимой концентрации (ПДК м.р.).

По результатам измерений, наибольшие уровни загрязнения были зафиксированы в точках 1, 2 и 3. В точке 1 (координаты: 47.125270, 51.870350) средняя концентрация составила 0,0031 мг/м³, а максимальная разовая – 0,0139 мг/м³, что превышает ПДК м.р. в 1,7 раза. В точке 2 (47.066555, 51.886817) показатели составили 0,0033 мг/м³ по средней концентрации и 0,0150 мг/м³ по разовой, что соответствует 1,8-кратному превышению ПДК. В точке 3 (47.114208, 51.861080) средняя концентрация была 0,0026 мг/м³, а мак-

симальная – 0,0090 мг/м³, при этом кратность ПДК составила 1,2. Все три точки демонстрируют устойчивое превышение допустимых норм по разовому показателю, что указывает на регулярные выбросы сероводорода и требует пристального внимания к источникам загрязнения в этих зонах.

Таблица 9

Результаты мониторинга качества атмосферного воздуха г. Атырау за февраль 2025 г.

Кесте 9

2025 жылдың ақпан айындағы Атырау қаласының ауа сапасының мониторингінің қорытындысы

Table 9

Results of monitoring the air quality of the city of Atyrau for February 2025

Координаты измерений	Средняя концентрация	Максимально разовая концентрация	Кратность ПДК (м.р.)
47.125270, 51.870350	0,0031	0,0139	1,7
47.066555, 51.886817	0,0033	0,0150	1,8
47.114208, 51.861080	0,0026	0,0090	1,2
47.119721, 51.927834	0,0006	0,0028	0,35
48.555353, 51.742215	0,0010	0,0033	0,4



Рис. 3. Средние и разовые концентрации сероводорода в атмосферном воздухе г. Атырау в феврале 2025 г.

Сурет 3. Атырау қаласының атмосфералық ауасындағы күкіртті сутегінің орташа және бір реттік концентрациясы 2025 жылғы ақпанда.

Figure 3. Average and one-time concentrations of hydrogen sulfide in the atmospheric air of the city of Atyrau in February 2025.

В точке 4 (47.119721, 51.927834) зафиксированы значительно более низкие значения: средняя концентрация составила 0,0006 мг/м³, а максимальная – 0,0028 мг/м³, что соответствует лишь 0,35 ПДК. Это указывает на благоприятную обстановку в данном районе.

В точке 5 (48.555353, 51.742215) средняя концентрация составила 0,0010 мг/м³, а максимально разовая – 0,0033 мг/м³, что составляет 0,4 от допустимого уровня. В сравнении с предыдущими месяцами (где по этой точке ранее наблюдались резкие превышения), можно отметить снижение уровня загрязнения и относительную стабилизацию экологической обстановки.

Таким образом, результаты мониторинга за февраль 2025 года свидетельствуют о наличии локальных участков с превышением допустимых концентраций сероводорода, особенно в центральной и западной частях города. Ситуация требует продолжения регулярного контроля, а также анализа потенциальных промышленных источников выбросов для принятия корректирующих экологических мер.

Обсуждение результатов

Анализ данных по концентрации сероводорода (H_2S) в атмосферном воздухе г. Атырау в зимние месяцы 2024–2025 гг. показывает устойчивую тенденцию к локальным превышениям максимально разовых концентраций в отдельных районах города. Особенно это характерно для точек 1, 2 и 3, которые демонстрировали незначительные превышения в январе и стабильные превышения в феврале. Вероятной причиной таких выбросов может являться активность промышленных объектов, расположенных вблизи этих зон, а также погодные условия, способствующие накоплению загрязняющих веществ, такие как температурные инверсии и слабая циркуляция воздуха.

Примечательно, что в декабре на этих же точках превышений не наблюдалось, за исключением пятой точки, где зафиксирован аномально высокий разовый выброс H_2S . Это может свидетельствовать о единичном инциденте или аварийном выбросе, требующем детального расследования. Однако в последующие месяцы концентрации по этой точке значительно снизились, что может указывать на временный характер источника загрязнения или на проведенные корректирующие мероприятия.

Стабильно низкие показатели в точках 4 и 5 (в январе и феврале) подтверждают наличие зон с благоприятной экологической обстановкой, возможно, удаленных от промышленных и транспортных источников выбросов. Эти участки могут служить фоновыми зонами для сравнительного анализа.

Сравнение полученных данных с установленными нормативами Республики Казахстан (ПДК м.р. – 0,008 мг/м³) показывает, что в целом среднесуточные значения не превышают допустимые уровни, однако превышения по максимально разовой концентрации представляют потенциальную угрозу для здоровья населения при длительном воздействии. По литературным данным, кратковременные превышения H_2S выше 0,01 мг/м³ могут вызывать раздражение дыхательных путей, головные боли и обострение хронических заболеваний.

Ограничением данного исследования является отсутствие данных о составе промышленных выбросов по точкам наблюдения, что затрудняет точную идентификацию источников загрязнения. Также не рассматривалась взаимосвязь с метеорологическими показателями по дням отбора проб, что может повлиять на полноту интерпретации.

В дальнейшем представляется целесообразным проведение параллельного отбора проб с анализом других компонентов загрязнения (например, оксидов азота, диоксида серы), а также использование моделей дисперсии загрязняющих веществ для оценки вклада конкретных источников.

Заключение

Результаты проведенного исследования пространственного распределения сероводорода в атмосферном воздухе г. Атырау в зимний период 2024–2025 гг. подтверждают наличие локальных зон с эпизодическими превышениями максимально разовой предельно допустимой концентра-

ции. Анализ по пяти точкам показал, что наибольшее превышение было зафиксировано в точках, расположенных вблизи промышленных зон, что указывает на антропогенное происхождение загрязнения.

Комплексный подход, основанный на регулярных изменениях, географической локализации и сравнительного анализе данных, позволил выявить сезонные особенности накопления сероводорода, связанные с метеорологическими условиями зимнего периода. Полученные данные подтверждают необходимость усиления экологического контроля, особенно в районах с наибольшим промышленным воздействием, а также целесообразность расширения спектра контролируемых веществ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI. Зарегистрирован в Государственном реестре нормативных правовых актов Министерства юстиции РК (на русском языке)
2. Санитарные правила «Гигиенические нормативы содержания вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест» № ҚР ДСМ-168/2020 от 28 декабря 2020 года. Зарегистрированы в Государственном реестре нормативных правовых актов Министерства юстиции РК (на русском языке)
3. Методические указания по контролю за загрязнением атмосферного воздуха населенных мест. – Алматы: Научный центр гигиены и эпидемиологии, 2018. – 65 с. (на русском языке)
4. Мониторинг содержания сероводорода в зимний период в пунктах наблюдения города Атырау / Ryskalieva D. [и др.] // Eurasian Journal of Ecology. 2022. Т. 72. № 3. С. 41–49 (на русском языке)
5. Состояние атмосферного воздуха г. Атырау / Даулбаева Р.А. [и др.] // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 9 (1). С. 59–63 (на русском языке)
6. Официальный отчет по результатам наблюдений за состоянием окружающей среды: Атырауский областной департамент экологии, Атырау, 2024. 35 с. (на русском языке)
7. Анализ содержания сероводорода в атмосферном воздухе города Атырау.
8. Ессенаманова М. [и др.] // International Journal of Sustainable Development & Planning. 2021. С. 479–483 (на английском языке)
9. Кожасаулов С.О., Сальников В.Г., Байдаулетова Г.К. Сравнительный анализ загрязнения атмосферы регионов западного Казахстана // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. 2024. Т. 21. № 2. С. 295–306 (на русском языке)
10. Баттерман С., Грант-Альфьери А., Сео С.-Х. Низкоуровневое воздействие сероводорода: обзор выбросов, воздействия на население, последствий для здоровья и нормативных ориентиров // Critical Reviews in Toxicology. 2023. Т. 53. № 4. С. 244–295 (на английском языке)
11. Агентство по токсичным веществам и регистрации заболеваний. Токсикологический профиль для сероводорода и карбонилсульфида. Министерство здравоохранения и социальных служб США, 2016. С. 27–97 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI. Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің нормативтік құқықтық актілердің Мемлекеттік тізілімінде тіркелген (орыс тілінде)
2. Санитариялық қағидалар «Елді мекендердің атмосфералық ауасындағы зиянды заттардың рұқсат етілетін шекті мөлшерінің гигиеналық нормативтері» № ҚР ДСМ-168/2020, 2020 жылғы 28 желтоқсанда бекітілген. Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің нормативтік құқықтық актілердің Мемлекеттік тізілімінде тіркелген (орыс тілінде)
3. Елді мекендердің атмосфералық ауасының ластануын бақылау жөніндегі әдістемелік нұсқаулар. – Алматы: Гигиена және эпидемиология ғылыми орталығы, 2018. – 65 б. (орыс тілінде)
4. Атырау қаласындағы бақылау нүктелерінде қысқы кезеңде күкіртсутек құрамына мониторинг жүргізу / Рыскалиева Д. [және т. б.] // Eurasian Journal of Ecology. 2022. Т. 72. № 3. Б. 41–49 (орыс тілінде)
5. Атырау қ. атмосфералық ауасының жағдайы / Даулбаева Р.А. [және т. б.] // Халықаралық эксперименттік білім журналы. 2016. № 9 (1). Б. 59–63 (орыс тілінде)
6. Қоршаған ортаның жай-күйіне жүргізілген бақылау нәтижелері бойынша ресми есеп: Атырау облысының экология департаменті, Атырау, 2024. 35 б. (орыс тілінде)
7. Атырау қаласының атмосфералық ауасындағы күкіртсутек құрамын талдау.
8. Yessenamanova M. [және т. б.] // International Journal of Sustainable Development & Planning. 2021. Б. 479–483 (ағылшын тілінде)
9. Қожағұлов С.О., Сальников В.Г., Байдаулетова Г.К. Батыс Қазақстан өңірлерінің атмосфералық ластануын салыстырмалы талдау // Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы. 2024. Т. 21. № 2. Б. 295–306 (орыс тілінде)

10. Batterman S., Grant-Alfieri A., Seo S-H. Күкіртсутектің төмен деңгейдегі әсері: шығарындылар, халықтың әсерге ұшырауы, денсаулыққа әсері және ұсынылатын нормативтер туралы шолу // *Critical Reviews in Toxicology*. 2023. Т. 53. № 4. Б. 244–295 (ағылшын тілінде)
11. Улы заттар және ауруларды тіркеу агенттігі. Күкіртсутек пен карбонилсульфидке арналған уыттылық профилі. АҚШ Денсаулық сақтау және әлеуметтік қызметтер министрлігі, 2016. Б. 27–97 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. *Ekologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan ot 2 yanvarya 2021 goda № 400-VI. Zaregistririvan v Gosudarstvennom reestre normativnykh pravovykh aktov Ministerstva yustitsii RK [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-VI. Registered in the State Register of Regulatory Legal Acts of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan]* (in Russian)
2. *Sanitarnye pravila «Gigienicheskie normativy sodержaniya vrednykh veshchestv v atmosfernom vozdukh naselednykh mest» № ҚР DSM-168/2020 ot 28 dekabrya 2020 goda. Zaregistririvany v Gosudarstvennom reestre normativnykh pravovykh aktov Ministerstva yustitsii RK [Sanitary Rules «Hygienic standards for the content of harmful substances in the atmospheric air of populated areas» No. KP DSM-168/2020 dated December 28, 2020. Registered in the State Register of Regulatory Legal Acts of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan]* (in Russian)
3. *Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu za zagryazneniem atmosfernogo vozdukha naselednykh mest [Methodological guidelines for monitoring atmospheric air pollution in populated areas], Almaty: Nauchnyi tsentr gigeny i epidemiologii, 2018. – 65 p. (in Russian)*
4. *Monitoring sodержaniya serovodoroda v zimnii period v punktakh nablyudeniya goroda Atyrau [Monitoring of hydrogen sulfide content during the winter period at observation points in the city of Atyrau], Ryskaliyeva D. [et al.], Eurasian Journal of Ecology [Eurasian Journal of Ecology]. 2022. V. 72. No. 3. 41–49 pp. (in Russian)*
5. *Sostoyaniye atmosfernogo vozdukha g. Atyrau [The state of atmospheric air in Atyrau city], Daulbayeva R.A. [et al.], Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya [International Journal of Experimental Education]. 2016. No. 9 (1). 59–63 pp. (in Russian)*
6. *Ofitsial'nyi otchet po rezul'tatam nablyudeniya za sostoyaniem okruzhayushchei sredy: Atyrauskii oblastnoi departament ekologii [Atyrau Regional Department of Ecology. Official report on the results of environmental monitoring], Atyrau, 2024. 35 p. (in Russian)*
7. *Analysis of the Content of Hydrogen Sulfide in the Air of the City of Atyrau.*
8. *Yessenamanova M. [et al.] // International Journal of Sustainable Development & Planning. 2021. 479–483 pp. (in English)*
9. *Kozhagulov S.O., Salnikov V.G., Baidauletova G.K. [Comparative analysis of atmospheric pollution in the regions of Western Kazakhstan], [Bulletin of the Kazakh-British Technical University]. 2024. V. 21. No. 2. 295–306 pp. (in Russian)*
10. Batterman S., Grant-Alfieri A., Seo S-H. Low Level Exposure to Hydrogen Sulfide: A Review of Emissions, Community Exposure, Health Effects, and Exposure Guidelines // *Critical Reviews in Toxicology*. 2023. V. 53. No. 4. 244–295 pp. (in English)
11. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profile for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide. U.S. Department of Health and Human Services, 2016. 27–97 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Сариева А.М., магистрант кафедры «Прикладная экология», Атырауский университет им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан), sariyeva.amina@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1006-952X>

Тауова Н.Р., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Прикладная экология», Атырауский университет им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан), tauova76@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1763-722X>

Бержанова М., магистр, ст. преподаватель Атырауского университета им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан), roza.berzhanova@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7314-0798>

Сакпарова А., магистр, ст. преподаватель Атырауского университета им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан), sakparova68@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6608-6845>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сариева А.М., «Қолданбалы экология» кафедрасының магистранты, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті (Атырау қ., Қазақстан)

Тауова Н.Р., Ph.D докторы, «Қолданбалы экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті (Атырау қ., Қазақстан)

Бержанова М., магистр, аға оқытушы, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті (Атырау қ., Қазақстан)

Сақпарова Алия, магистр, аға оқытушы, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті (Атырау қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sariyeva A.M., Master's student of the Department of Applied Ecology, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University (Atyrau, Kazakhstan)

Tauova N.R., Ph.D, Associate Professor of the Department of Applied Ecology, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University (Atyrau, Kazakhstan)

Berzhanova M., master's degree, senior lecturer, Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, (Atyrau, Kazakhstan)

Sakparova A., master's degree, senior lecturer, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University (Atyrau, Kazakhstan)

МАРАТ ЖАКУПОВИЧ БИТИМБАЕВ (к 85-летию со дня рождения)

М.Ж. Битимбаев родился 18 августа 1940 г. в г. Зайсан Восточно-Казахстанской области. Окончив в 1962 г. Казахский политехнический институт (бывший Казахский горно-металлургический институт, ныне Казахский национальный 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. В 1984 г. был назначен 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».

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 КРН-4у и КРН-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 КазНУ 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, многими медалями и почетными знаками, серебряной медалью Петра Капицы за открытие в области наук о Земле. Является Заслуженным геологом Казахстана, Лауреатом премии «Золотой Гефест», награжден орденом «Выдающийся иностранный академик» Российской инженерной академии.

Коллектив Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, 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!

11-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ



CAOG

Central Asia Oil and Gas Exhibition

**БУРОВОЕ И РАЗВЕДОЧНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ, НАСОСЫ
И КЛАПАНЫ.
ПРЯМЫЕ ПОСТАВКИ ИЗ
КИТАЯ - БЕЗ ПЕРЕПЛАТ.**



СКАНИРУЙ QR ДЛЯ
УЧАСТИЯ!

**24-26 СЕНТЯБРЯ 2025 ГОДА
CASPIAN OIL CITY, Г. АКТАУ**

Тел: +77756964413, email: caogkz@gmail.com, www.caog.kz

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

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, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте minmag.kz).

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

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем 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.

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, русском и английском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском 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 предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов;
 - 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, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется 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 подрисуночном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

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. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте minmag.kz.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.