

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](mailto: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](mailto:karimov20-13@mail.ru)

Российская Федерация, Сибирский регион –  
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК  
[shaposhnikyury@mail.ru](mailto: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 30.11.2025 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»



Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, [mbitimbaev@mail.ru](mailto:mbitimbaev@mail.ru)

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, [leonkr38@mail.ru](mailto:leonkr38@mail.ru)

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, [yusupov\\_kh@mail.ru](mailto:yusupov_kh@mail.ru)

Ответственный редактор

Т.С. ДОЛИНА, [Tatyana.Dolina@interrin.kz](mailto:Tatyana.Dolina@interrin.kz)

Редакционная коллегия:

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

Vach K., доктор Ph.D (Чехия)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Каримов Ш.В., PhD, и.о. доцента кафедры (Узбекистан)

Кожогулов К.Ч., д-р техн. наук, профессор, засл. деятель науки КР, академик (Кыргызская Республика)

Levin E., доктор Ph.D, ассоц. профессор (США)

Mishra V.M., профессор (США)

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

Nikoloski A.N., профессор (Австралия)

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

Sladkovsky A., д-р техн. наук, профессор (Польша)

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Хайитов О.Г., д-р геол.-минерал. наук, профессор, академик (Узбекистан)

Ченуштанова Т.А., PhD

Уененех А.М., ассоц. профессор (Оман)

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- 4 *Кадухин Никита*  
Новый функционал в новой версии Micromine
- Геотехнология**
- 6 *Р.А. Мусин, В.Ф. Демин, \*Д.Р. Ахматнуров, И.М. Шмидт-Федотова*  
Пучение вмещающих пород под влиянием горного давления: численное моделирование и анализ параметров
- Горные машины**
- 12 *\*А.З. Букаева, В.В. Поветкин*  
Исследование воздействия высокоскоростной газовой струи термоинструмента при добыче гранитных блоков
- Минерально-сырьевые ресурсы**
- 19 *А. Амангелдіқызы, А.Н. Копобаева, \*Н.С. Асқарова, Ә. Бақыт*  
Изучение благородных металлов в углях Карагандинского угольного бассейна
- Разрушение горных пород**
- 26 *В. Khusan, S.T. Kakim, \*D.T. Ivdilinova, A.S. Turdaliyeva*  
Analysis of research on blasting operations in the preparation of water-filled overburden blocks in open-cut mines
- Геодезия**
- 32 *Н.Н. Мусахан, \*Ы. Жакыпбек, С.В. Турсбеков, С.Н. Мустапаева*  
Жердің шөлейттенуін спутниктік геодезия негізінде мониторингтеу
- 38 *\*М.Б. Игемберлина, Г.Е. Жунусова, Ә.С. Тұяқбай, С.Б. Асланова*  
Цифрлық технологияларды қолдана отырып, өнеркәсіптік алаңда геодезиялық негіздеме жобасын әзірлеу
- Металлургия**
- 45 *Ж.А. Юсупова, Н.К. Досмухамедов, В.А. Каплан, \*Е.Е. Жолдасбай*  
Влияние параметров цианирования на извлечение золота из флотоконцентратов упорных руд Центрального Казахстана
- Геохимия**
- 53 *А. Zhumagaziev, \*S. Kurbaniyazov, A. Damenova, A. Beskempirova*  
Stratigraphy and geochemistry of sulfate formations in the Shert gypsum deposit
- Нефтегазовое дело**
- 62 *Р.Р. Таишенов, А.К. Орынбасаров, А.С. Садырбаева, \*М.К. Жантасов*  
Бейорганикалық реагенттердің бұрғылау ерітінділерінің ингибирлеуші қасиеттеріне әсері
- Геоэкология**
- 69 *\*А.А. Исмаилова, Н. Жалғасұлы, Н. Уайсулы*  
Обезвреживание подземных вод при добыче полезных ископаемых
- 77 *\*Д.К. Сунакбаева, Д.Х. Юлдашбек*  
Геоэкологическая оценка засоления почв в горно-долинных районах Туркестанской области (на примере долин Урангай и Ащысай)
- 84 Требования к оформлению и условия предоставления статей

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат  
Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Уважаемая редколлегия!  
Дорогие читатели!*

Однажды пришедшая в голову мысль начинать каждый номер нашего журнала с так называемой Колонки главного редактора была придумана не мной, но она мне нравится. В ней можно остановиться на оценке уходящих и ожидаемых событий, акцентируя внимание читающей аудитории на проблемных вопросах предмета наших постоянных интересов. Правда, хотелось бы иметь и обратную связь от тех, кто уделит часть своего интереса журналу, прочитав мнение редактора. Я продолжаю надеяться, что все самое хорошее впереди, т. к. все-таки взаимосвязь является частью признания.

Ну, а ноябрь в жизни нашей страны наполнен заметными событиями и во внешней политике, и в наших внутренних делах. Хотя оба эти направления являются для жителей страны зачастую логическим продолжением друг друга, т. к. сущность всегда связана с жизненным укладом, здоровьем и экономическим благополучием нас с вами.

Естественно, во внешнеполитической деятельности, возглавляемой нашим Президентом, нас волновали встречи сразу друг за другом с руководителями трех держав мира – Китая, США и России. Можно сразу же отметить, что итоги визитов дают уверенный повод для оптимизма, во-первых, и в восприятии в духе здорового прагматизма, которым всегда отличался наш Президент, способности Касым-Жомарта Кемелевича «оставаться и другом, и расчетливым партнером» во-вторых.

И сложные, многогранные дипломатические маневры, и сохранение экономических интересов, и доказательство мощным партнерам своей роли как самостоятельного игрока в любом по сложности диалоге со всеми центрами силы – это основа успеха, достигнутого нашей страной в преддверии Нового года.

Что особенно удовлетворяет казахстанцев – так это всеобщее усиление экономических интеграционных направлений, соглашения в области транзита, транспортной безопасности, совместных научных исследований, в том числе космических, стремление поддерживать конструктивные отношения со всеми ключевыми мировыми игроками.

Меня также особенно заинтересовала договоренность с руководством и бизнес-сообществом США об освоении вольфрамовых месторождений нашей страны – одного из крупнейших в мире Верхне-Кайрактинского и находящегося рядом с ним меньшего по запасам, но более богатого по содержанию Северного Катпара.

Как многие помнят, еще во времена СССР эти месторождения были полностью разведаны, и было принято решение о строительстве горно-металлургического гиганта на их базе с присоединением к нему Коктенкольского молибденового месторождения, разведанного рядом с Верхне-Кайрактинским вольфрамовым. По итогам реализации этого решения Казахская ССР должна была войти в число ведущих производителей вольфрама и молибдена в мире. Руководителем строительства был назначен в ранге заместителя Министра цветной металлургии Казахской ССР Рамазанов Мнайдар Рамазанович.

Но планам не суждено было сбыться. Вина в провале надежд лежит полностью на руководителях событий, приведших к развалу СССР. Теперь будем надеяться, что старые планы из архивов лягут в основу рабочей Программы нынешних соглашений.

Всему свое время. Казахстан в этом вопросе больше выиграл, чем проиграл.

Кадухин Никита,  
ведущий специалист по продуктам Micromine Origin, Geobank, Nexus

## Grade Control

# НОВЫЙ ФУНКЦИОНАЛ В НОВОЙ ВЕРСИИ MICROMINE

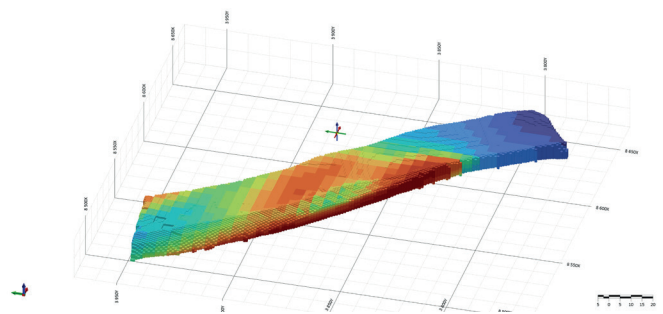
Micromine постоянно ориентируется на потребности своих клиентов и располагает одной из лучших в отрасли систем обратной связи. В период с 2022 по 2025 год компания регулярно получала запросы на разработку универсального инструмента для подготовки сортового плана отработки месторождений открытым способом.

Наши специалисты провели десятки внедрений в разных странах мира и создали ряд уникальных макросов, которые существенно оптимизировали этот процесс. Сегодня мы можем уверенно заявить: больше нет необходимости разрабатывать длинные и сложные макрокоманды для решения ежедневных производственных задач.

Теперь все это можно выполнить с помощью гибкого и удобного инструмента **Micromine Grade Control**, встроенного прямо в новую версию продукта.

Мы сделали работу с новым инструментом максимально простой и удобной. В основе – понятная каждому пользователю пошаговая логика «**Step by Step**».

Что это значит на практике?

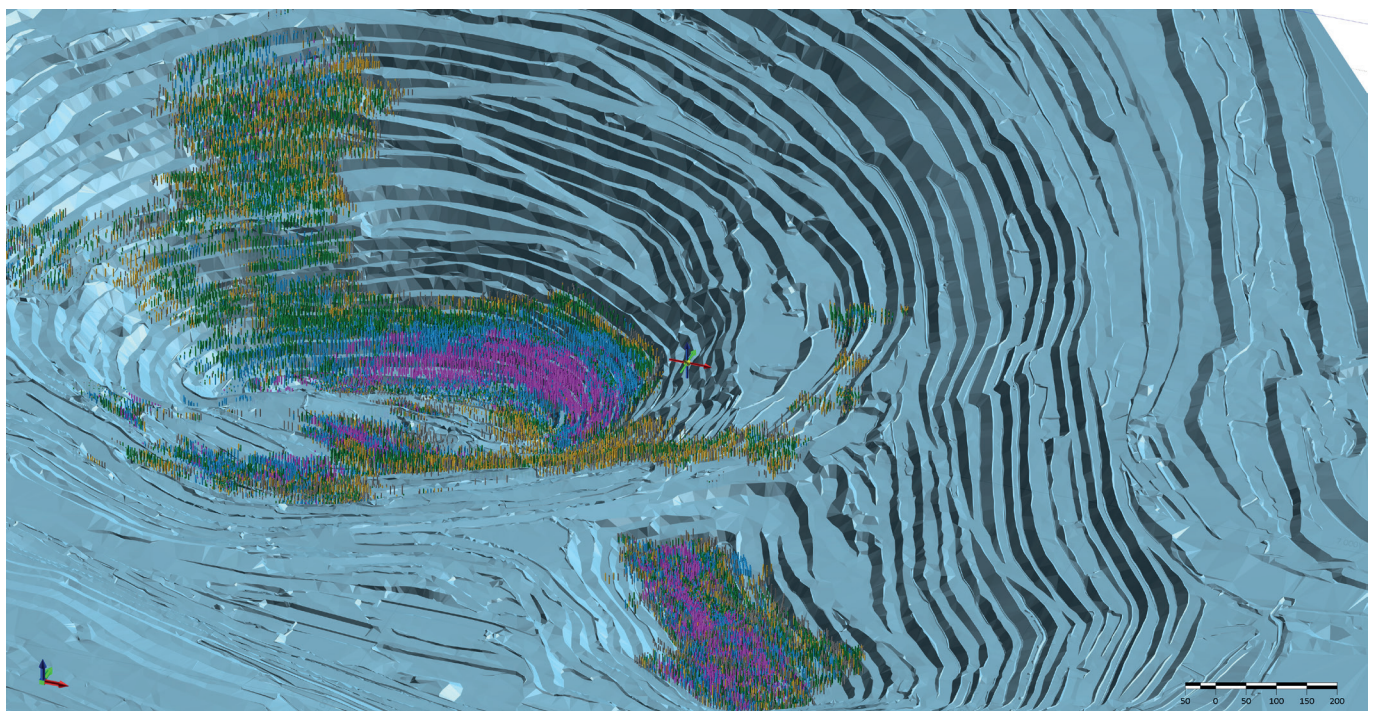
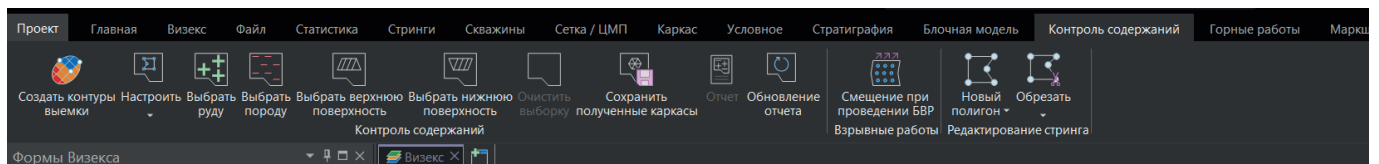


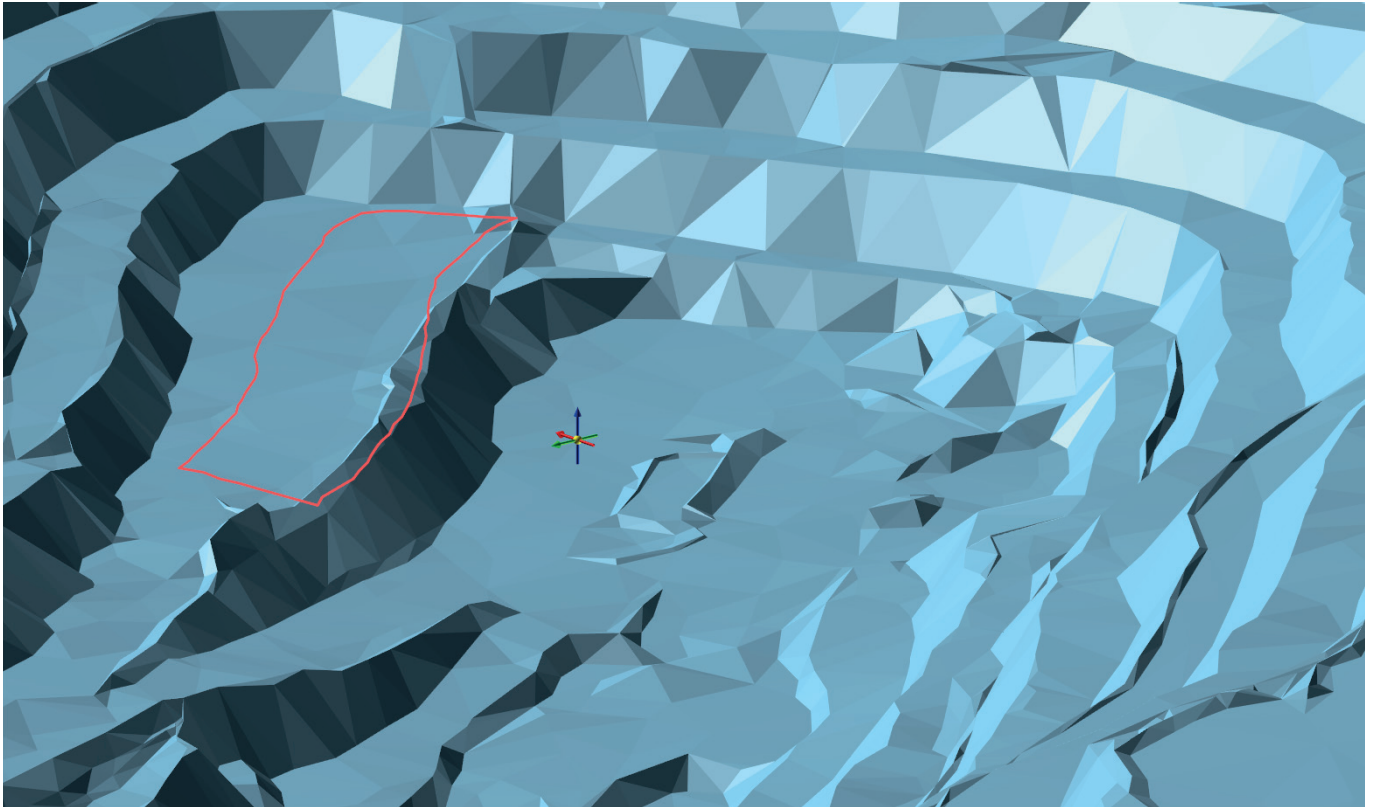
**1. Вы видите только тот шаг, который нужно выполнить сейчас.**

Никаких лишних окон, сложных меню или запутанных настроек.

**2. Заполняете форму – система проверяет корректность данных.**

Если все введено верно, Micromine автоматически переключает вас на следующий этап.





### 3. Каждый шаг – подсказки, валидация и напоминания.

Программа не позволит случайно пропустить важный параметр или указать неверное значение.

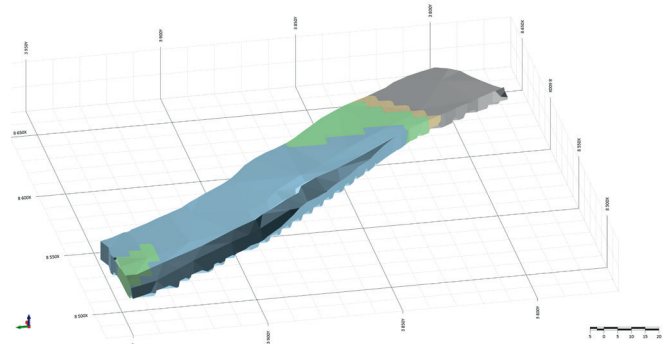
**4. Итог – минимизация человеческого фактора.** Мы свели риск непреднамеренных ошибок практически к нулю, а сам процесс стал предсказуемым, прозрачным и надежным.

По сути, мы создали «навигацию» по сложной технологической операции, где система сама ведёт специалиста от начала и до результата. Это экономит время, снижает нагрузку и повышает качество данных, что напрямую влияет на эффективность сортового плана.

Специалисту остается просто двигаться по меню – шаг за шагом, слева направо. Выполнил один этап – переходишь к следующему. Все максимально логично и прозрачно: никакой лишней путаницы, и в итоге пользователь гарантированно получает нужный результат без сложных настроек и риска ошибок.

На первом этапе специалист задает контур будущего взрывного блока. Именно с этого шага начинается вся дальнейшая логика работы. Пользователь определяет границы участка, который планируется к отработке, и система автоматически готовит основу для последующих шагов.

Далее используется либо заранее подготовленная блочная модель, либо данные по композитным интервалам скважин. Пользователь выбирает удобный вариант, и система автоматически подгружает нужную информацию для дальнейшего анализа и расчетов. Благодаря этому



процесс остается гибким и подходит под любую производственную ситуацию.

В результате мы получаем **полностью готовый сортовой план** с детальным разбиением по сортам внутри вскрышного блока. Это действительно универсальный инструмент, который позволяет:

- формировать **плановые показатели** по будущим блокам отработки;
- создавать **отчеты по фактическим данным** – на основе информации опробования, композитов, блочной модели, а также съемок карьера на момент начала и окончания работ.

Инструмент работает гибко и корректно обрабатывает любые наборы входных данных, что делает процесс подготовки сортового плана быстрым, надежным и максимально автоматизированным.

Мы рады делать работу наших клиентов лучше.

Код МРНТИ 52.13.25

Р.А. Мусин, В.Ф. Демин, \*Д.Р. Ахматнуров, И.М. Шмидт-Федотова  
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет  
им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

## ПУЧЕНИЕ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

**Аннотация.** Исследование посвящено комплексной оценке влияния горного давления на процессы пучения вмещающих пород с применением численного моделирования в средах FLAC3D и UDEC. Рассмотрены особенности напряженно-деформированного состояния массива при различных горно-геологических условиях, включая глубокие горизонты разработки и зоны повышенной трещиноватости. Определены глубина и конфигурация пластических зон, параметры активного пучения и зависимость скорости деформаций от коэффициента бокового давления. На основе обобщения шахтных наблюдений и экспериментальных данных выявлены критические режимы нагружения, при которых риск ускоренного пучения существенно возрастает. Полученные результаты позволяют разработать эффективные меры по прогнозированию и предотвращению опасных проявлений пучения, обеспечивая повышение безопасности горных работ.

**Ключевые слова:** пучение пород, подошва выработки, коэффициент бокового давления, FLAC3D, UDEC, анкерное крепление, смолиньекционное упрочнение, пластические деформации.

**Тау жынысы қысымының әсерінен қабылдаушы тау жыныстарының ауырлауы: сандық модельдеу және параметрлерді талдау**

**Аңдатпа.** Зерттеу FLAC3D және UDEC орталарында сандық модельдеу арқылы жыныстарға түсетін тау қысымының ісінуге (пучение) әсерін кешенді бағалауға арналған. Өртүрлі тау-геологиялық жағдайлардағы, соның ішінде терең горизонттар мен жарықшақтылығы жоғары аймақтардағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйінің ерекшеліктері қарастырылды. Пластикалық аймақтардың тереңдігі мен конфигурациясы, белсенді ісіну параметрлері және деформация жылдамдығының бүйірлік қысым коэффициентіне тәуелділігі анықталды. Шахталық байқаулар мен тәжірибелік деректерді қорыту негізінде жеделдетілген ісіну қаупі айтарлықтай артатын жүктеме режимдері анықталды. Алынған нәтижелер қауіпті деформациясының алдын алу мен болжауға тиімді шараларды әзірлеуге мүмкіндік береді, тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін арттыра отырып.

**Түйінді сөздер:** тау жыныстарының ауыруы, жұмыс түбі, бүйірлік қысым коэффициенті, FLAC3D, UDEC, зәкірлеу, шайырды инъекциялауды қатайту, пластикалық деформация.

### Heaving of host rocks under the influence of rock pressure: numerical modeling and analysis of parameters

**Abstract.** The study is devoted to a comprehensive assessment of the influence of rock pressure on the heaving processes of surrounding rocks using numerical modeling in FLAC3D and UDEC environments. The features of the stress-strain state of the rock mass under various geological conditions, including deep mining levels and zones of increased fracturing, are considered. The depth and configuration of plastic zones, the parameters of active heaving, and the dependence of deformation rates on the lateral pressure coefficient have been determined. Based on the generalization of mine observations and experimental data, critical loading regimes that significantly increase the risk of accelerated heaving have been identified. The obtained results allow the development of effective measures for predicting and preventing dangerous manifestations of heaving, ensuring increased safety in mining operations.

**Key words:** heaving of rocks, bottom of working, lateral pressure coefficient, FLAC3D, UDEC, anchoring, resin injection.

### Введение

В условиях интенсивного освоения глубинных горизонтов угольных и рудных месторождений все более остро встает проблема устойчивости подземных горных выработок, особенно в массиве слабых, водонасыщенных или набухающих пород. Пучение почвы (днища) выработки – один из наиболее распространенных и опасных видов деформаций, способных привести к серьезным авариям, нарушению технологического процесса и значительным финансовым затратам на восстановление работоспособности горной выработки [1].

На шахтах Карагандинского угольного бассейна фиксировались случаи подъема почвы на 30–50 см за несколько недель, что сопровождалось разрушением крепи и остановкой транспорта. Один из примеров – авария на шахте им. Костенко в 2016 г., где пучение привело к обрушению крепи в монтажной камере, полной остановке очистного участка и необходимости инъекционного укрепления массива.

Согласно исследованиям Д. Ахматнурова [2], применение комбинированных схем анкерного крепления позволяет снизить амплитуду пучения до 0,02–0,04 м, что подтверждается данными зарубежных авторов [3], [4]. В то же время, даже незначительное увеличение коэффициента бокового давления приводит к росту скорости пучения на 20–30%, требуя предварительного упрочнения массива [5].

Пучение проявляется в виде поднятия почвы выработки под воздействием горного давления, перераспределения напряжений и особенностей геологического строения массива (рис. 1).



**Рис. 1. Пучение почвы со дна выработки.  
Сурет 1. Қазба түбінен топырақтың ісінуі.  
Figure 1. Floor heave from the mine working bottom.**

Особенно сильно данный эффект выражен в глинистых и аргиллитовых породах, склонных к набуханию при изменении влажности и раскрытии естественных трещин.

Также на процессы пучения существенное влияние оказывает коэффициент бокового давления, определяющий соотношение горизонтальных и вертикальных напряжений в массиве [6].

При значениях, близких к единице и выше, вмещающие породы находятся в состоянии повышенного сжатия, что способствует накоплению упругой энергии и последующему ее высвобождению в виде интенсивного выдавливания материала подошвы в выработку.

Сложность прогноза и мониторинга пучения обусловлена латентным характером этого явления на ранних стадиях, когда визуальные признаки деформаций практически отсутствуют, а также значительной неоднородностью геомеханических свойств пород по простиранию и мощности пласта.

Анализ данных наблюдений и инструментальных замеров показывает, что даже незначительные изменения влажности пород, сезонные колебания температуры или увеличение глубины ведения горных работ всего на 20–40 м способны радикально изменить поведение массива [7]. Это нередко приводит к ускоренной динамике пучения, проявляющейся в виде локальных выпучин, трещинообразования и прогрессирующей деформации крепи [8].

В практике подземной добычи угля зафиксировано множество случаев, когда пучение становилось причиной серьезных производственных нарушений. Так, на шахтах Карагандинского угольного бассейна наблюдались подъемы почвы выработок на 30–50 см в течение нескольких недель [9]. Подобные деформации сопровождалось разрушением или смятием элементов крепи, заклиниванием транспортных средств, нарушением работы ленточных конвейеров, необходимостью повторного углубления почвы и усиления крепежных систем.

Одним из наиболее показательных случаев стало происшествие на шахте им. Костенко в 2016 году [10], когда в монтажной камере произошло обрушение крепи в результате накопленного пучения подошвы. Это привело к полной остановке очистного участка, эвакуации персонала и проведению срочных восстановительных работ, включавших инъекционное укрепление и замену поврежденных конструкций. Аналогичные инциденты имели место на шахтах им. Саранской и им. 50-летия Октября [11], где пучение достигало критических величин, требуя проведения внеплановых горноспасательных мероприятий.

Опыт анализа таких случаев показывает [12], что профилактика пучения требует комплексного подхода: регулярного инструментального мониторинга, геомеханического моделирования, предварительного укрепления потенциально опасных зон, а также применения комбинированных схем крепления с учетом реальных напряженно-деформированных состояний массива (рис. 2).

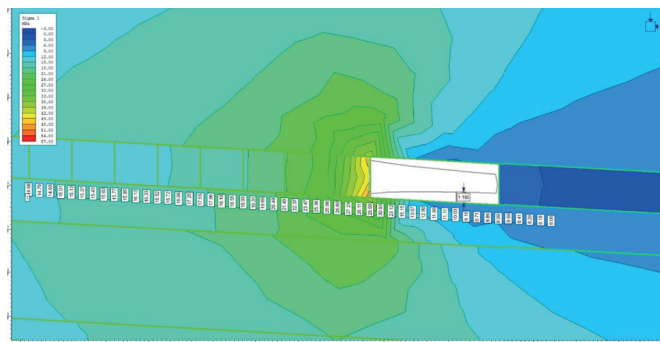


**Рис. 2. Обрушение кровли вследствие накопленного пучения.**

**Сурет 2. Жиналған ісіну салдарынан төбенің құлауы.**  
**Figure 2. Roof collapse due to accumulated floor heave.**

### Методика исследования

Решение проблемы требует системного подхода, включающего геомеханическое районирование, оперативный сейсмоакустический и визуальный мониторинг, а также численное моделирование процессов деформирования массива. Особую роль в этом играют современные программные средства, такие как FLAC3D и UDEC, позволяющие оценивать напряженно-деформированное состояние массива и моделировать поведение трещиноватых пород с учетом влияния внешних и внутренних факторов (рис. 3).



**Рис. 3. Моделирование распределения горного давления.**

**Сурет 3. Тау жынысы қысымының таралуын модельдеу.**

**Figure 3. Modeling the distribution of rock pressure.**

Моделирование выполнено с использованием FLAC3D и UDEC. Рассматривались выработки шириной 4 м на глубине 450 м в алевролитах и аргиллитах.

Были смоделированы три значения коэффициента бокового давления: 1.0, 1.2 и 1.4. Применялась упругопластическая модель с упрочнением и контактным взаимодействием.

### Результаты и обсуждение

На основании численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива пород с использованием программных комплексов FLAC3D и UDEC было установлено, что при  $K_0 = 1.2$  скорость пучения воз-

растает примерно на 20%, при  $K_0 = 1.4$  – до 30%. Активное пучение сосредоточено в зоне до 0.5 м от подошвы выработки, что требует локального укрепления.

**Исходные данные.** В основу моделирования положены: геометрические параметры подготовительных горных выработок (форма сечения, глубина заложения, способ проведения); физико-механические свойства угольных пластов и вмещающих пород (предел прочности на сжатие и растяжение, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения, сцепление, плотность); трещиноватости массива, определенные по лабораторным испытаниям керновых проб и по данным шахтных наблюдений.

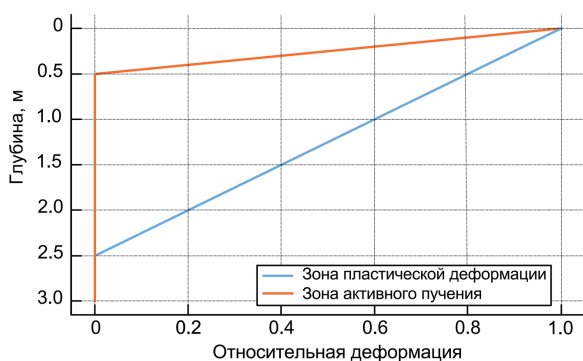
**Математическая модель.** В качестве критерия предельного состояния использовалась модель Мора-Кулона с учетом пластичности и накопления деформаций. Для участков массива, характеризующихся повышенной трещиноватостью, применялись пониженные значения сцепления и угла внутреннего трения, что отражало реальную неоднородность горной породы.

Верхняя граница модели воспринимала нагрузку от вышележащих слоев, соответствующую глубине разработки. Боковые границы задавались через коэффициент бокового давления ( $K_0$ ), который варьировался в диапазоне 0,8–1,5. Нижняя граница закреплялась, имитируя условия опирания массива. Были рассмотрены расчетные случаи при различных значениях коэффициента бокового давления. Для каждого сценария фиксировались: глубина развития пластических зон, величины и скорость деформаций почвы и кровли, параметры перераспределения напряжений, характер развития зон трещинообразования.

**Проверка корректности.** Полученные результаты сопоставлялись с фактическими шахтными данными по величинам пучения и смещений в подземных выработках Карагандинского угольного бассейна. Совпадение характерных величин и закономерностей подтвердило адекватность модели.

**Обработка результатов.** На основании расчетных данных построены зависимости «нагрузка-деформация» и выявлена тенденция увеличения скорости пучения пород при росте коэффициента бокового давления.

Распределение деформаций по глубине от контура выработки представлено на рисунке ниже.



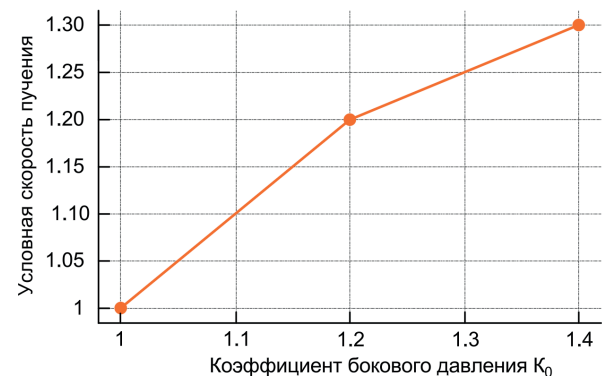
**Рис. 4. Распределение деформаций в массиве горных пород.**

**Сурет 4. Тау жынысы массасындағы деформациялардың таралуы.**

**Figure 4. Distribution of deformations in a rock mass.**

Пластическая зона достигает глубины 2.5 м. Активное пучение проявляется на глубине до 0.5 м, требуя локальных мер укрепления (инъекций, анкерования, армирования).

На следующем рисунке показано влияние коэффициента бокового давления  $K_0$  на скорость пучения.



**Рис. 5. Влияние коэффициента бокового давления на скорость пучения.**

**Сурет 5. Бүйірлік қысым коэффициентінің Гейстинг жылдамдығына әсері.**

**Figure 5. Effect of Lateral Pressure Coefficient on Heaving Rate.**

Как видно, при  $K_0 = 1.2$  происходит увеличение скорости пучения примерно на 20%, при  $K_0 = 1.4$  – до 30%. Это требует усиленного контроля за состоянием почвы и обоснованного проектирования крепи. Ранее рассмотренные три значения коэффициента бокового давления использовались как реперные сценарии, отражающие базовое, неблагоприятное и критическое состояния массива. Вместе с тем для повышения достоверности результатов были смоделированы также промежуточные значения ( $K_0 = 0,8; 1,0; 1,2; 1,3; 1,5$ ). Это позволило построить зависимость скорости пучения и параметров деформации от изменения бокового давления. Полученные результаты показывают устойчивую тенденцию роста интенсивности деформаций при увеличении  $K_0$ , что подтверждает корректность сделанных выводов.

**Предложение по применению анкерного крепления для предотвращения пучения пород.** На основании результатов численного моделирования, показавших распространение зоны активного пучения до 0.5 м от контура выработки и влияние коэффициента бокового давления  $K_0 > 1.2$   $K_0 > 1.2$  на ускорение процессов деформации, обосновано внедрение систем анкерного крепления пола (почвы выработки) как эффективной меры стабилизации массива.

#### **Технические решения**

1. Установка вертикальных или наклонных анкеров в днище выработки позволяет ограничить пучение за счет удержания нестабильных пород.

Рекомендуемые параметры: длина анкеров 1.5–2.5 м, диаметр:  $\geq 22$  мм (с применением смол или механические), шаг 0.8–1.2 м в шахматном порядке и установленные в почву выработки (рис. 6).

2. Смешанная система «анкер + опорный элемент» – применение анкерных стержней с предварительно уложенными бетонными плитами, деревянными шпалами или металлическими прогонами позволяет перераспределить усилия, снизить локальные деформации, обеспечить равномерное осаждеие почвы.

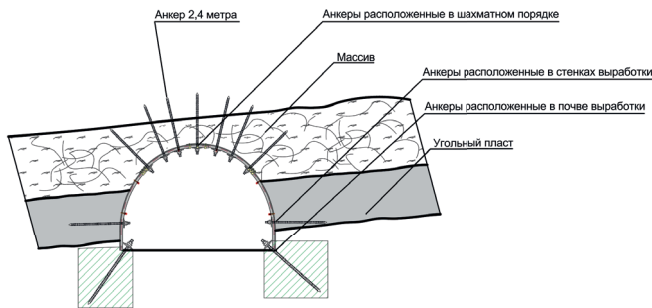
3. Смолоинъекционное упрочнение зоны пучения, до установки анкеров целесообразно провести инъекционное укрепление слабых грунтов подошвы с использованием полиуретановых, эпоксидных или цементно-известковых смол и силикатных растворов с использованием жидкого стекла и хлористого калия.

Такая мера снижает водонасыщенность, повышает модуль сдвига пород и уменьшает амплитуду и скорость пучения.

4. Использование податливых и энергоемких анкеров – рекомендуется применение анкеров с программируемой податливостью – втулки, пружинные элементы или зоны контролируемой пластической деформации.

5. В дополнение к креплению необходимо предусмотреть: бурение шпуров наблюдения (на глубину 0.5–1.5 м), установку реперов и деформационных маркеров; регулярный геомеханический мониторинг состояния почвы и анкеров.

Ожидаемый эффект от внедрения: снижение темпов пучения на 30–50%, стабилизация подошвы на период  $\geq 12$  месяцев, уменьшение затрат на повторное профилирование и ремонт, повышение безопасности и устойчивости ведения горных работ.



**Рис. 6. Схема установки анкеров.**  
**Сурет 6. Анкерлерді орнату схемасы.**  
**Figure 6. Scheme of anchor installation.**

## Заключение

В результате проведенного исследования с использованием программных комплексов FLAC3D и UDEC установлено, что зона пластических деформаций вмещающих пород распространяется на глубину до 2,5 м от контура выработки, при этом наиболее интенсивное пучение концентрируется в приповерхностной зоне до 0,5 м. Такой характер распределения деформаций подчеркивает необходимость применения локальных мер стабилизации, направленных на укрепление подошвы выработки. Показано, что при увеличении коэффициента бокового давления выше значения 1,2 скорость пучения возрастает примерно на 20%, а при значениях около 1,4 достигает 30%, что указывает на прямую зависимость интенсивности деформационных процессов от напряженного состояния массива.

Анализ полученных данных подтвердил эффективность использования активного крепления, включающего установку анкеров, смолоинъекционное упрочнение слабых пород и применение податливых элементов, позволяющих компенсировать постепенные деформации. Такой подход обеспечивает снижение скорости и амплитуды пучения, продление срока службы выработок без ремонта и повышение общей устойчивости горных работ.

Выявлено, что процессы пучения носят комплексный характер и зависят не только от глубины разработки, но и от литологических особенностей, влажности и степени трещиноватости массива. Это требует системного подхода к прогнозированию и контролю, который должен включать численное моделирование, инструментальный мониторинг, геомеханическое районирование и адаптацию схем крепления к конкретным горно-геологическим условиям.

Реализация предложенных решений позволит существенно снизить риски аварий, оптимизировать затраты на ремонт и восстановление и обеспечить безопасное и устойчивое ведение горных работ в условиях повышенного горного давления и слабых вмещающих пород.

## Благодарность

Данное исследование выполнено при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной и научно-технической программы ИРН BR24992803.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование механических свойств и механической реакции при добыче угля на глубине 1000 м и более / Се Х. [и др.] // *Rock Mech. Rock Eng.* 2019. № 52. С. 1475–1490 (на английском языке)
2. Оптимизация схем армирования для стабилизации рабочего пола в угольных шахтах на основе оценки его деформационного состояния / Ахматнуров Д. [и др.] // *Материалы.* 2025. № 18 (13). С. 4–10 (на английском языке)
3. Чен Х., Ли Дж., Ван С. Характеристики пучения пола и технология управления проезжим полотном в глубоких угольных шахтах // *J. Rock Mech. Geotech.* 2024. № 16. С. 567–578 (на английском языке)
4. Ма Х., Зобак М.Д. Прогнозирование литологически контролируемых изменений напряжений в сланцах Вудфорд по данным каротажа скважин с помощью вязкопластической релаксации // *SPE J.* 2020. № 25. С. 2534–2546 (на английском языке)
5. Контроль пучения пола в боковом входе, удержание при бесстоечной добыче угля с технологией защиты от свай со сдвигом / Сахно И. [и др.] // *Наука.* 2024. № 14. С. 4992 (на английском языке)

6. Жабко А.В. Критерий прочности для блочных массивов и обратные геомеханические расчеты // Горный журнал Казахстана. 2020. № 6. С. 37–47 (на русском языке)
7. Чжан Г.Й., Чжао Л., Шнаг Ю.К. Исследование ключевой технологии управления пучкой пола в мягкой породе // Coal Sci. Technol. 2019. № 11. С. 63–67 (на английском языке)
8. Кашиников Ю.А., Ашихмин С.Г., Механика горных пород для разработки месторождений углеводородов // Горная книга. 2019. № 2. С. 522 (на русском языке)
9. Улусай Р. Рекомендованные методы ISRM для характеристики, испытаний и мониторинга горных пород // Springer. 2015. С. 293 (на английском языке)
10. Му С.Й., Ма З. Анализ механизма деформаций и вспомогательная технология для вспучивания скального дорожного полотна в глубоких сложных геологических условиях // Угольные шахты. 2016. № 47. С. 95–98 (на английском языке)
11. Титан Н.В., Иванов С.И. Изучение формирования зоны опорного давления в системе «сдвоенных выработок» // Горные науки и технологии. 2020. № 5. С. 49–55 (на русском языке)
12. Ма С., Зобак М.Д. Прогнозирование литологически обусловленных изменений напряжений в сланце Вудфорд по данным геофизических исследований скважин с использованием вязкопластической релаксации // SPE Journal. 2020. № 6. С. 2534–2546 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛЫНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. 1000 м және одан да көп тереңдікте көмір өндіруде механикалық қасиеттер мен механикалық реакцияны зерттеу / Си Х. [және т. б.] // Rock Mech. Rock Eng. 2019. № 52. Б. 1475–1490 (ағылшын тілінде)
2. Көмір шахталарындағы жұмыс қабатын тұрақтандыру схемаларын оның деформациялық жай-күйін бағалау негізінде оңтайландыру / Ахматнұров Д. [және т. б.] // Материалдар. 2025. № 18 (13). Б. 4–10 (ағылшын тілінде)
3. Чэнь Х., Ли Дж., Ван С. Еденнің ауырлау сипаттамасы және терең көмір шахталарындағы жол төсеніштерін бақылау технологиясы // J. Rock Mech. Geotech. 2024. № 16. Б. 567–578 (ағылшын тілінде)
4. Ма Х., Зобак М.Д. Вископластикалық босаңсуды пайдалана отырып, ұңғымаларды кесу деректері негізінде Вудфорд тақтатастарындағы литологиялық бақыланатын кернеулердің өзгеруін болжау // SPE J. 2020. № 25. Б. 2534–2546 (ағылшын тілінде)
5. Бүйір кіреберістегі еденнің көтерілуін бақылау, көмірді тоқтаусыз өндіру кезінде жылжымалы қадалардан қорғау технологиясымен ұстау / Сахно и. [және т. б.] // Ғылым. 2024. № 14. Б. 4992 (ағылшын тілінде)
6. Жабко А.В. Блоктар массивтер мен кері геомеханикалық есептеулер үшін беріктік критерийі // Қазақстан тау-кен журналы. 2020. № 6. Б. 37–47 (орыс тілінде)
7. Чжан Г.Я., Чжао Л., Шнаг Я.К. Жұмсақ тау жынысындағы еден бумасын басқарудың негізгі технологиясын зерттеу // Coal Sci. Technol. 2019. № 11. Б. 63–67 (ағылшын тілінде)
8. Кашиников Ю.А., Ашихмин С.Г. Көмірсутегі кен орындарын игеру жөніндегі тау жыныстарының механикасы // Тау кітабы. 2019. № 2. Б. 522 (орыс тілінде)
9. Улусай Р. Тау жыныстарын сипаттау, сынау және мониторингтеу үшін ISRM-дің ұсынылатын әдістері // Springer. 2015. Б. 293 (ағылшын тілінде)
10. Ми С.У., Ма З. Күрделі терең геологиялық жағдайларда жартаc жынысты қазба табанының пучниесі жағдайындағы деформация механизмін талдау және оған қарсы қосалқы технологиялар // Coal Mines. 2016. № 47. Б. 95–98 (ағылшын тілінде).
11. Титан Н.В., Иванов С.И. «Қос жұмыс» жүйесінде тірек қысымы аймағының қалыптасуын зерттеу // Тау-кен ғылымдары және технологиялар. 2020. № 5. Б. 49–55 (орыс тілінде)
12. Ма С., Зобак М.Д. Вископластикалық релаксацияны пайдалана отырып, ұңғымаларды геофизикалық зерттеулерге сәйкес Вудфорд тақтатасындағы күйзелістердің литологиялық шартты өзгерістерін болжау // SPE Journal. 2020. № 6. Б. 2534–2546 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Study of mechanical properties and mechanical reaction in coal mining at a depth of 1000 m and more / Xie H. [et al.] // Rock Mech. Rock Eng. 2019. No. 52. 1475–1490 pp. (in English)
2. Optimization of reinforcement schemes for stabilization of the working floor in coal mines based on the assessment of its deformation state / Akhmatnurov D. [et al.] // Materials. 2025. No. 18 (13). 4–10 pp. (in English)
3. Chen H., Li J., Wang S. Characteristics of floor heaving and technology of control of roadbed in deep coal mines // J. Rock Mech. Geotech. 2024. No. 16. 567–578 pp. (in English)
4. Ma H., Zobak M.D. Prediction of lithologically controlled changes in stresses in Woodford shales based on well logging data using viscoplastic relaxation // SPE J. 2020. No. 25. 2534–2546 pp. (in English)

5. *Control of floor heaving in the side entrance, retention in the stoechnoy mining of coal with the technology of protection from piles with a shift / Sakhno I. [et al.] // Science. 2024. No. 14. 4992 p. (in English)*
6. *Zhabko A.V. Kriterii prochnosti dlya blochnykh massivov i obratnye geomekhanicheskie raschety [Strength criterion for block arrays and inverse geomechanical calculations], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2020. No. 6. 37–47 pp. (in Russian)*
7. *Zhang G.Y., Zhao L., Shnag Y.K. Study of the key technology of floor bundle control in soft rock // Technol. 2019. No. 11. 63–67 pp. (in English)*
8. *Kashnikov Yu.A., Ashikhmin S.G. Mekhanika gornykh porod dlya razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov [Mechanics of Rocks for the Development of Hydrocarbon Deposits], Gornaya kniga [Mining book]. 2019. No. 2. 522 p. (in Russian)*
9. *Ulusai R. Recommended ISRM Methods for Characterization, Testing and Monitoring of Rock Rocks // Springer. 2015. 293 p. (in English)*
10. *Mu S.Y., Ma Z. Analysis of the mechanism of deformations and auxiliary technology for swelling of the rocky roadbed in deep complex geological conditions // Coal mines. 2016. No. 47. 95–98 pp. (in English)*
11. *Titan N.V., Ivanov S.I. Izuchenie formirovaniya zony opornogo davleniya v sisteme «sdvoennykh vyrabotok» [Study of the formation of the support pressure zone in the system of «double workings»], Gornye nauki i tekhnologii [Mining sciences and technologies]. 2020. No. 5. 49–55 pp. (in Russian)*
12. *Ma S., Zobak M.D. Forecasting of lithologically conditioned changes in stresses in Woodford shale according to geophysical studies of wells using viscoplastic relaxation // SPE Journal. 2020. No. 6. 2534–2546 pp. (in English)*

**Сведения об авторах:**

**Мусин Р.А.**, Ph.D доктор, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [R.A.Mussin@mail.ru](mailto:R.A.Mussin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

**Демин В.Ф.**, д.т.н., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [vladfdemin@mail.ru](mailto:vladfdemin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

**Ахматнуров Д.Р.**, Ph.D доктор, руководитель испытательной лаборатории «Метановая энергетика в горно-металлургическом комплексе», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [d\\_akhmatnurov@mail.ru](mailto:d_akhmatnurov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

**Шмидт-Федотова И.М.**, доктор Ph.D, преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [irinka.shmidt@mail.ru](mailto:irinka.shmidt@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9984-4761>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Мусин Р.А.**, Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Демин В.Ф.**, т.ғ.д., «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Ахматнуров Д.Р.**, Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Тау-кен металлургия кешеніндегі метан энергетикасы» сынақ зертханасының меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Шмидт-Федотова И.М.**, Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Musin R.A.**, Ph.D, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

**Demin V.F.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

**Akhmatnurov D.R.**, Ph.D, Head of the Testing Laboratory «Methane Energy in the Mining and Metallurgical Complex», Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

**Schmidt-Fedotova I.M.**, Ph.D, Lecturer of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 55.33.35

\*А.З. Букаева<sup>1</sup>, В.В. Поветкин<sup>2</sup><sup>1</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан),<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ ТЕРМОИНСТРУМЕНТА ПРИ ДОБЫЧЕ ГРАНИТНЫХ БЛОКОВ

**Аннотация.** В статье рассматривается исследование теплового воздействия высокоскоростного и высокотемпературного газового потока, создаваемого горелкой, на обрабатываемую поверхность горной породы. Анализируются условия, при которых поток направляется под разными углами, что влияет на характер хрупкого разрушения материала и структуру поврежденного слоя. Также определены ключевые параметры взаимодействия струи с породой: распределение удельных тепловых потоков в зоне торможения, глубина и объем разрушения, а также скорость перемещения струи относительно поверхности. Полученные результаты обеспечивают более точное понимание механизмов теплового разрушения, что позволяет оптимизировать параметры резки, выбрать рациональные режимы работы и повысить эффективность обработки гранитных и других горных пород в различных технологических условиях.

**Ключевые слова:** термоинструмент, огнеструйное разрушение, горная порода, тепловой поток, термическая обработка.

### Гранит блоктарын өндіру кезінде термо құралдың жоғары жылдамдықты газ ағынының әсерін зерттеу

**Андатпа.** Мақалада термо құрылғы тудыратын жоғары жылдамдықты және жоғары температуралы газ ағынының тау жынысының өңделетін бетіне жылу әсерін зерттеу қарастырылады. Ағын әртүрлі бұрыштармен бағыттталатын жағдайлар талданады, бұл материалдың морт бұзылу сипатына және зақымданған қабаттың құрылымына әсер етеді. Сондай-ақ ағынның жыныспен өзара іс-қимылының негізгі параметрлері анықталды: тежеу аймағындағы меншікті жылу ағындарының бөлінуі, қирау тереңдігі мен көлемі, сондай-ақ ағынның жер бетіне қатысты қозғалу жылдамдығы. Алынған нәтижелер жылу бұзылуының тетіктерін неғұрлым нақты түсінуді қамтамасыз етеді, бұл кесу параметрлерін оңтайландыруға, жұмыстың ұтымды режимдерін таңдауға және әртүрлі технологиялық жағдайларда гранит және басқа да тау жыныстарын өңдеу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** жылу құралы, өрт сөндіру, тау жынысы, жылу ағыны, термиялық өңдеу.

### Study of the impact of high-speed gas jet thermo-tool at extraction of granite blocks

**Abstract.** The article deals with the study of thermal effect of high-speed and high-temperature gas flow created by a torch on the treated rock surface. The conditions under which the flow is directed at different angles, which affects the nature of brittle fracture of the material and the structure of the damaged layer, are analyzed. Key parameters of jet-rock interaction are also determined: distribution of specific heat fluxes in the braking zone, depth and volume of fracture, as well as the speed of jet movement relative to the surface. The obtained results provide a more accurate understanding of the mechanisms of thermal fracture, which allows to optimize cutting parameters, select rational modes of operation and increase the efficiency of processing granite and other rocks in different technological conditions.

**Key words:** thermal tool, fire-jet destruction, rock, heat flow, heat treatment.

### Введение

Современные технологии обработки горных пород требуют повышения эффективности и производительности термического разрушения.

Одним из перспективных методов является применение высокоскоростного и высокотемпературного газового потока, создаваемого горелкой, воздействующей на обрабатываемую поверхность под различными углами.

Такой подход позволяет не только ускорить процесс резки и разрушения породы, но и оптимизировать тепловую нагрузку, снижая потери энергии и износ оборудования. В работе рассматривается теоретическая модель теплового воздействия в условиях, приближенных к реальным, учитывающая распределение температур, напряжений и теплофизические свойства материала. Особое внимание уделяется определению эффективной зоны нагрева, объемной производительности и параметрам, влияющим на глубину и скорость разрушения. Полученные зависимости и расчеты позволяют формировать практические рекомендации по выбору режима работы термоинструментов и проектированию установок для термической резки твердых горных пород [1].

### Материалы и методы

Для решения задачи о тепловом воздействии газовых потоков горелок, протекающих под некоторым углом обрабатываемой плоскости, в случае резки горной породы составим теоретическую модель процесса обработки как в случае воздействия кругового источника тепла.

На рис. 1 представлена модель взаимодействия высокоскоростного газового потока с обрабатываемой плоскостью породы, имитирующая тепловое воздействие кругового источника. Указан угол наклона струи к поверхности, зона теплового проникновения и глубина прогрева, определяющая форму и размеры области разрушения.

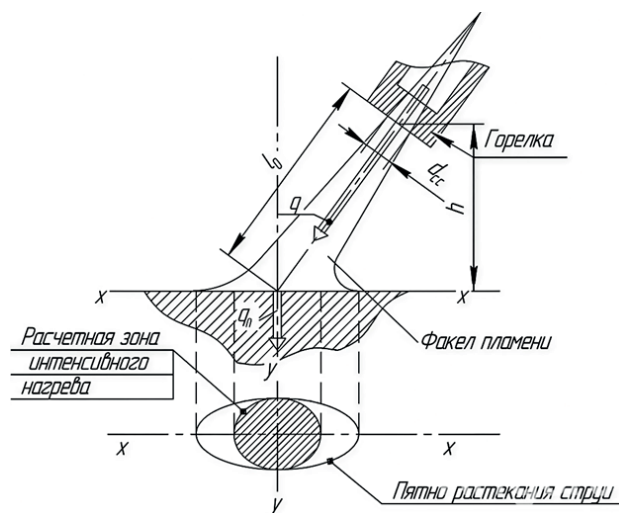


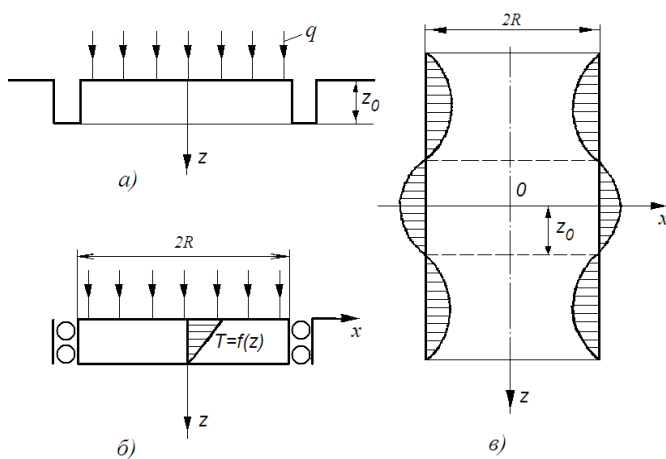
Рис. 1. Взаимодействие газовой струи с горной породой.

Сурет 1. Газ ағынының тау жыныспен өзара әрекеттесуі.

Figure 1. Interaction of a gas jet with a rock.

Модель разрушаемого слоя представляет полосу толщиной, определяемой глубиной проникновения тепла  $z$  в рассматриваемый момент основания, а по боковой поверхности – связью, не допускающей горизонтальных смещений контура (рис. 2).

На рисунке показаны варианты постановки задачи для теоретического анализа термического напряженного состояния разрушенного слоя породы: 1) полоса, заделанная по основанию; 2) полоса с боковыми условиями, не допускающими горизонтальных смещений; 3) полоса, нагруженная по боковой поверхности гармонической нагрузкой. Данная модель полосы прогретого слоя горной породы учитывает толщину слоя, равную глубине теплового проникновения  $z$ , и применяется для построения напряженно-деформированного состояния при тепловом воздействии.



**Рис. 2. Модели полосы для расчета полей термических напряжений**

*а) заделанной по основанию; б) с заделкой, не допускающей горизонтального смещения контура; в) нагруженной по боковой поверхности гармонической нагрузкой.*

#### Сурет 2. Термиялық кернеу өрістерін есептеуге арналған жолақ модельдері

*а) негіз бойынша тығыздалған; б) контурдың көлденең сысуына жол бермейтін тығыздалған; в) бүйір беті бойынша жүктелген гармоникалық жүктеме.*

**Figure 2. Models of the strip for calculating thermal stress fields**

*a) sealed at the base; b) with a seal that does not allow horizontal displacement of the contour; c) loaded along the lateral surface with a harmonic load.*

Рассмотрим задачу со следующими условиями. Полоса бесконечной длины, толщиной  $z_0$  и шириной  $2R$ , жестко заделанная по основанию со стороны  $z = 0$ , а по боковой поверхности – связью, не допускающей горизонтальных смещений, нагревается максимальным тепловым потоком  $q_{max}$  горелки, работающей при движении газовой струи. Распределение температур в пластине подчиняется зависимости [2]:

$$T(z) = -T_s(1 + zH) + T_r zH, \quad (1)$$

где  $T_s$  – температура поверхности нагрева, К;

$H = \alpha_q/\lambda$  – относительный коэффициент теплообмена, 1/м;

$\alpha_q$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$T_r$  – температура газа у нагреваемой поверхности, К.

Модуль упругости  $E$ , коэффициент теплового расширения  $\alpha$  и коэффициент Пуассона  $\mu$  приняты независимыми от температуры. Данные формулы позволяют найти поля термических напряжений по глубине прогретого слоя. Задача решается методом суперпозиции, т. е. отдельно находятся поля термических напряжений в полосе, защемленной по основанию, и в полосе с заделкой, не допускающей горизонтальных смещений контура.

Поставленная задача находится из алгебраического сложения полученных двух решений. Первое решение задачи об отыскании полей термических напряжений в полосе, защемленной по основанию и свободной от нагрузки по боковой поверхности, осуществляется использованием метода, примененного в работе [2] для отыскания полей деформации в круглой плите, жестко заделанной по основанию.

Деформированное состояние плиты выразится следующими смещениями и относительными деформациями:

$$u_x = 0; \quad w_z = \frac{1 - \mu}{1 + \mu} \alpha \cdot \int f(z) dz; \quad (2)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \quad \varepsilon_z = \frac{1 - \mu}{1 + \mu} \alpha \cdot f(z);$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z}. \quad (3)$$

Деформированное состояние полосы, выражаемое зависимостями (3), удовлетворяет уравнению совместности деформаций Сен-Венана. В полосе будут действовать напряжения.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{\alpha E f(z)}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= \tau_{xz} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Напряжения, выражаемые зависимостями (4), являются точным решением для полосы, заделанной по контуру так, как указано на рисунке при любом распределении температуры  $T = f(z)$ .

#### Результаты исследования

Для решения задачи о полосе, жестко защемленной по основанию, используем модель полосы бесконечной толщины ( $z = \infty$ ), нагруженной по боковой поверхности нагрузкой, распределенной по гармоническому закону. В результате в полосе возникают напряжения, обусловленные тепловым воздействием и граничными условиями.

В полосе будут действовать напряжения:

$$\sigma_x = -\frac{\alpha E T \cos k z}{1 - \mu}, \quad (5)$$

где  $k = \frac{n\pi}{2z_0}$ ;

$z_0$  – длина четверти волны косинусоиды;

$n = 1, 3, 5, 7$  и т. д.

Очевидно, справедливо равенство:

$$f(z) = T \cos kz. \quad (6)$$

При принятом законе нагружения функция напряжений может быть принята в виде:

$$\varphi = \cos kz [A_n \operatorname{ch}(kx) + B_n kx \operatorname{sh}(kx)], \quad (7)$$

где  $A_n, B_n$  – постоянные, определяемые из граничных условий.

Напряжения через функцию напряжений выразятся:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -k^2 \cos kz [A_n \operatorname{ch}(kx) + B_n kx \operatorname{sh}(kx)] \\ \sigma_z &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = k^2 \cos kz \{A_n \operatorname{ch}(kx) + B_n [2\operatorname{ch}(kx) + kx \operatorname{sh}(kx)]\} \\ \tau_{xz} &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z} = -k^2 \sin kz \{A_n \operatorname{sh}(kx) + B_n [\operatorname{sh}(kx) + kx \operatorname{ch}(kx)]\} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

На боковой поверхности должны быть выполнены условия:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x/x=R} &= -\frac{\alpha ET \cos kz}{1 - \mu} \\ \tau_{xz/x=R} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Подставляя в эти уравнения напряжения из (9), получим значения постоянных  $A_n$  и  $B_n$ :

$$\left. \begin{aligned} B_n &= \frac{-\operatorname{sh}(kR) - \alpha ET}{kR + \operatorname{ch}(kR) \operatorname{sh}(kR) k^2 (1 - \mu)}; \\ A_n &= \frac{kR \operatorname{ch}(kR) + \operatorname{sh}(kR) - \alpha ET}{kR + \operatorname{ch}(kR) \operatorname{sh}(kR) k^2 (1 - \mu)}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При больших значениях  $kR$ :  $\operatorname{sh}(kR) \approx \operatorname{ch}(kR) = \frac{1}{2} e^{kR}$ .

Тогда приближенно:

$$\left. \begin{aligned} B_n &\approx -\frac{e^{kR}}{2[kR + e^{2kR}/4]} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}; \\ B_n &= -\frac{2e^{kR}}{4kR + e^{2kR}} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)} = b_n \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}; \\ A_n &\approx \frac{kR e^{2kR}/2 + e^{2kR}/2}{kR + e^{2kR}/4} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}; \\ A_n &= \frac{2e^{kR}(kR + 1)}{4kR + e^{2kR}} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)} = a_n \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Сечение  $z = 0$  (рис. 2 а) является плоскостью прямой симметрии нагрузки, и в нем отсутствуют смещения в на-

правлении оси  $z$ . Это сечение остается плоским, т. е. в нем должно выполняться условие  $\tau_{xz} = 0$ ;  $\sigma_z = 0$ . Для перехода к задаче о полосе, защемленной по основанию, к сечению  $z = 0$  и основанию прикладываются противоположно направленные напряжения  $\sigma_x$ , т. е. последние переносятся в основание. Таким образом, с учетом указанного и (6), поля термических напряжений в полосе окончательно выразятся [3]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n kx \operatorname{sh}(kx)] \frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n kx + kx \operatorname{sh}(kx)] \frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \tau_{xz} &= -\{a_n \operatorname{sh}(kx) - b_n [\operatorname{sh}(kx) + kx \operatorname{ch}(kx)]\} \frac{E \alpha T \sin kz}{1 - \mu} \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Второе решение задачи о полосе, не допускающей горизонтальных смещений контура (рис. 2 б), известно и изложено в [4]. Поля термических напряжений в данном случае выразятся:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= 0 \\ \tau_{xz} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Алгебраически складывая решения (12) и (13), получим зависимости для полей термических напряжений в полосе, защемленной по основанию и заделанной по боковой поверхности, не допускающей горизонтальных смещений контура:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n kx \operatorname{sh}(kx) - 1] \frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n [2\operatorname{ch}(kx) - kx \operatorname{sh}(kx)]] \frac{E \alpha T (1 - \cos kz)}{1 - \mu} \\ \tau_{xz} &= -\{a_n \operatorname{sh}(kx) - b_n [\operatorname{sh}(kx) - kx \operatorname{ch}(kx)]\} \frac{E \alpha T \sin kz}{1 - \mu} \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Зависимости (14) справедливы при гармоническом изменении температуры по толщине полосы. В нашем случае распределение температуры линейное. Однако с удовлетворительной точностью можно заменить линейное распределение температуры гармоническим, тем более, как будет указано в дальнейшем, наиболее опасным для прочности полосы будут напряжения в ее основании, где температура равна нулю.

Оценку напряженного состояния указанной области основания проводим по критерию П.П. Баландина [5], получившего экспериментальное подтверждение при изучении прочности хрупких материалов. Для плоского напряженного состояния критерий имеет вид:

$$\sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2 + (\sigma^p + \sigma^c)\sigma_z = \sigma^p\sigma^c, \quad (15)$$

где  $\sigma^p$  и  $\sigma^c$  – пределы прочности породы на сжатие и растяжение.

Подставляя в (15) величины  $\sigma_z$  и  $\tau_{xz}$ , действующих в наиболее опасной области основания, и приняв  $\sigma^c = 20\sigma^p$ , получим следующие условия разрушения прогретого слоя:

$$0,063 \cdot \frac{E\alpha T_s}{1-\mu} \geq \sigma^p, \quad (16)$$

где  $T_s$  – температура поверхности нагрева породы в момент отделения прогретого слоя, К.

В работах [6, 7] получен критерий при воздействии на породу полосового источника тепла, приближенно принятого для случая воздействия одной горелки. При этом в струе горелки выделялась эффективная зона нагрева с минимальным снижением теплового потока. Эта эффективная длина теплового потока в струе находится в пределах 0,15...0,2 м при общей длине струи 0,35...0,4 м.

При перемещении полосы нагрева шириной  $2R$  вдоль породы с постоянной скоростью  $v_{np}$  каждая точка расчетной зоны будет находиться под действием факела, время  $t_{ст}$ , при этом отделяется слой толщиной  $z$  (рис. 1).

На активной части длины струи  $L$ , в которой происходит эффективное разрушение, объемная производительность будет:

$$\Pi_v = 2RL \frac{z}{t_{ст}}, \quad \text{м}^3/\text{с}. \quad (17)$$

Эффективная зона нагрева породы линейным источником тепла определяется следующим образом. Под действием струи газов высокой температуры и скорости возникает тепловой поток  $q$ , распределение которого с достаточной точностью подчиняется закону Гаусса [8, 9] (рис. 3).

$$q = q_{max} \exp(-kr^2), \quad \text{Вт}/\text{м}^2, \quad (18)$$

где  $q_{max}$  – максимальный тепловой поток источника тепла, Вт/м<sup>2</sup>;

$r$  – текущий радиус, м;

$k$  – коэффициент сосредоточенности теплового потока, 1/м<sup>2</sup>.

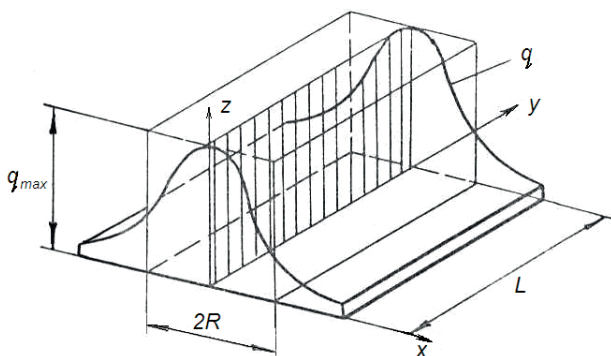


Рис. 3. Модель полосового источника тепла.  
Сурет 3. Жолақты жылу көзі моделі.  
Figure 3. The model of the strip heat source.

Из опыта огнеструйного разрушения известно, что материалы интенсивно разрушаются в области эффективного нагрева, за пределами которого производительность разрушения резко снижается до полного прекращения. Обозначим радиус этой зоны  $R$ . Заменим распределение теплового потока в пятне эффективного нагрева равномерным в пределах области  $|0 \leq r \leq R|$  и равным  $g_{max}$  [10]. Приравнявая количество тепла при действительном и принятом распределении теплового потока, получим:

$$\begin{aligned} L2R q_{max} &= \int_{-\infty}^{+\infty} q_{max} \exp(-kr^2) dr L = \\ &= \frac{1,77}{\sqrt{k}} q_{max} L, \end{aligned} \quad (19)$$

откуда находим радиус пятна эффективного нагрева:

$$R = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{k}} \quad (20)$$

Зависимость (20) при ширине нагрева  $2R$  для одной горелки показана на рисунке 4. Из графика следует, что с увеличением коэффициента сосредоточенности теплового потока  $k$  радиусу пятна эффективного нагрева  $R$  убывает. С увеличением коэффициента сосредоточенности теплового потока более 3, радиус пятна снижается незначительно. Поскольку при  $k > 3$  тепловой поток уже максимально сосредоточен в центральной зоне, дальнейшее его увеличение практически не влияет на радиус пятна из-за насыщения распределения прогретого слоя, то есть температуры.

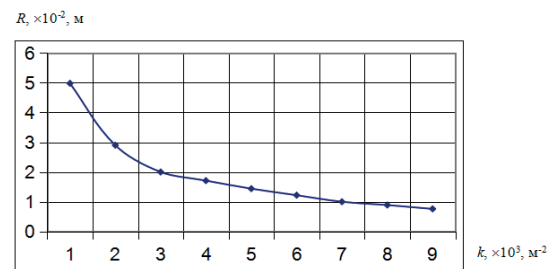


Рис. 4. Зависимость радиуса пятна эффективного нагрева от коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока.

Сурет 4. Тімді қыздыру нүктесінің радиусының меншікті жылу ағынының шоғырлану коэффициентіне тәуелділігі.

Figure 4. Dependence of the radius of the effective heating spot on the specific heat flux concentration factor.

Определяем линейную скорость огнеструйного разрушения:

$$v_{лин} = c \cdot q_{max}, \quad (21)$$

где  $c$  – тангенс угла наклона кривой  $v_{лин} = f(q)$ .

С учетом этих выражений (22) объемная производительность разрушения горной породы примет вид:

$$W = c \cdot q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}} \cdot L \quad (22)$$

Анализ показывает, что объемная производительность зависит от произведения трех величин:  $c$ ,  $q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}}$  и  $L$  – длины полосы нагрева. По своему физическому смыслу величина  $c$  характеризует объем разрушенной зоны, приходящейся на единицу вложенной энергии, т. е. удельный объем разрушения, и зависит от теплофизических свойств породы.

Отношение  $q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}}$  характеризует плотность теплового потока в породе и его распределение в пятне нагрева, т. е. тепловую мощность термоинструмента. Из уравнения следует, что проектировать термоинструменты следует с обеспечением максимальной передачи тепла в нагреваемую поверхность.

Исходя из положения, что при движении пятна эффективного нагрева полосового источника шириной  $2R$  каждая точка должна находиться в этой области время  $t_{сл}$ , определим требуемую скорость продольного перемещения:

$$v_{пр} = \frac{2R}{t_{сл}} \text{ или } v_{пр} = q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}} c z^{-1}, \text{ м/с.} \quad (23)$$

Зависимость (23) показывает, что с увеличением удельного теплового потока и уменьшением сосредоточенности струи, при снятии слоя породы данной толщины, необходимо увеличивать скорость перемещения полосового источника тепла относительно породы. Решение этой задачи позволяет установить пределы, хрупкое разрушение материала в зависимости от сосредоточенности и теплового потока в прогревом слое.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. Новые разработки в горном машиностроении. Теоретические и практические решения по минеральным ресурсам. Книга майнинга: Пресса CRC, 2015. 616 с. (на английском языке)
2. Triong Dang Quang MSc. Текущая ситуация с добычей камня для строительных материалов в провинции Гуанг // Американский журнал инженерных исследований. 2022. Т. 11 (06). С. 80–85 (на английском языке)
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. Альтернатива традиционным методам дробления пород с использованием SCDA: обзор // Энергия. 2016. Т. 9 (11). С. 958 (на английском языке)
4. Поветкин В.В. Огнеструйная обработка гранитных блоков: Алматы, 2001. 145 с. (на русском языке)
5. Поветкин В.В., Букаева А.З., Хандожко А.В. Использование бензовоздушных горелок для добычи и обработки блочного камня // Научно-технические технологии в машиностроении. 2017. № 12. С. 8–14 (на русском языке)
6. Поветкин В.В., Букаева А.З. Методика расчета основных параметров горелки термоинструмента // Инженер. 2018. № 1 (25). С. 86–88 (на русском языке)
7. Совершенствование огнеструйного способа резки горных пород при добыче блочного камня из гранитов / Поветкин В.В. [и др.] // Поиск. 2017. № 1 (1). С. 176–182 (на русском языке)
8. Изучение термических камнерезных инструментов / Nurutov Ye. [и др.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 8. С. 22–27 (на английском языке)
9. Инструменты для высокоскоростного термического напыления, используемые в технологических процессах и производствах / Bukayeva A. [и др.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 10. С. 474–479 (на английском языке)

#### Обсуждение

В результате проведенного теоретического исследования рассмотрены основные закономерности теплового взаимодействия высокоскоростного газового потока горелки с поверхностью горной породы. Построена математическая модель, описывающая распределение температур и напряжений в зоне воздействия тепла, учтены особенности геометрии источника и параметры газовой струи. Выявлены условия, при которых происходит хрупкое разрушение материала, а также определены зависимости для расчета эффективной длины зоны нагрева, скорости разрушения и объемной производительности процесса. Полученные результаты имеют практическую значимость для проектирования термоинструментов и разработки режимов термической резки твердых пород, обеспечивая повышение эффективности и точности обработки.

#### Заключение

В ходе исследования установлены параметры взаимодействия газовой струи с горной породой, обеспечивающие хрупкий характер разрушения породы. Это позволило определить распределение удельных тепловых потоков в зоне пятна торможения газовой струи.

Найдена объемная скорость разрушения породы, что позволяет количественно оценить эффективность в процессе разрушения.

На основе анализа механизма разрушения определены параметры скорости процесса, что способствует более точному прогнозированию динамики разрушения породы при воздействии газовой струи.

#### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (грант № AP25796181).

10. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Применение сверхзвуковых термоинструментов при ремонте трубопроводов // Сб. трудов XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. С. 84–89 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. Тау-кен машиналарын жасаудағы жаңа әзірлемелер. Минералдық ресурстар бойынша теориялық және практикалық шешімдер. Майнинг кітабы: CRC пресса, 2015. 616 б. (ағылшын тілінде)
2. Truong Dang Quang MSc. Гуанг провинциясында құрылыс материалдары үшін тас өндірудің ағымдағы жағдайы // Американдық инженерлік зерттеулер журналы. 2022. Т. 11 (06). Б. 80–85 (ағылшын тілінде)
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. SCDA пайдалану арқылы жыныстарды ұсақтаудың дәстүрлі әдістеріне балама: шолу // Энергия. 2016. Т. 9 (11). Б. 958. (ағылшын тілінде)
4. Поветкин В.В. Гранит блоктарын отты ағыспен өңдеу: Алматы, 2001. 145 б. (орыс тілінде)
5. Поветкин В.В., Букаева А.З., Хандожко А.В. Блокты тасты өндіру және өңдеу үшін жанармай-ауа оттықтарын пайдалану // Машина жасаудағы ғылымды қажет ететін технологиялар. 2017. № 12. Б. 8–14 (орыс тілінде)
6. Поветкин В.В., Букаева А.З. Термоқұрал жанарғысының негізгі параметрлерін есептеу әдістемесі // Инженер. 2018. № 1 (25). Б. 86–88 (орыс тілінде)
7. Граниттен блокты тасты өндіру кезінде тау жыныстарын кесудің отты жару тәсілін жетілдіру / Поветкин В.В. [және т. б.] // Издеу. 2017. № 1 (1). Б. 176–182 (орыс тілінде)
8. Термиялық тас кесетін құралдарды зерттеу / Нуритов Ye. [және т. б.] // Journal Of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 8. Б. 22–27 (ағылшын тілінде)
9. Технологиялық процестер мен өндірістерде қолданылатын жоғары жылдамдықты термиялық бұрку құралдары / Букаева А. [және т. б.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 10. Б. 474–479 (ағылшын тілінде)
10. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Құбырларды жөндеу кезінде дыбыстан жоғары термоқаптарды қолдану // «XXI ғасырдағы Машина жасау және техносфера» XXIII халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының еңбектер жинағы, Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. Б. 84–89 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. New Developments in Mining Engineering 2015. Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources. Mining Book: CRC Press, 2015. 616 p. (in English)
2. Truong Dang Quang MSc. Current Situation of Stone Mining for Construction Materials in an Giang Province // American Journal of Engineering Research. 2022. V. 11 (06). 80–85 pp. (in English)
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. An alternative to conventional rock fragmentation methods using SCDA: a review // Energies. V. 9 (11). 958 p. (in English)
4. Povetkin V.V. Ognestrujnaja obrabotka granitnyh blokov [Flame cutting of granite blocks]. Almaty, 2001. 145 p. (in Russian)
5. Povetkin V.V., Bukayeva A.Z., Handozhko A.V. Ispol'zovanie benzovozdushnyh gorelok dlja dobychi i obrabotki blochnogo kamnja [Using air-fueled burners for mining and processing block stone], Naukojtomkie tehnologii v mashinostroenii [Science-intensive technologies in mechanical engineering]. 2017. No. 12. 8–14 pp. (in Russian)
6. Povetkin V.V., Bukayeva A.Z. Metodika rascheta osnovnyh parametrov gorelki termoinstrumenta [The method of calculating the main parameters of the thermal tool burner], Inzhener [Engineer]. 2018. No. 1 (25). 86–88 pp. (in Russian)
7. Sovershenstvovanie ognestruinogo sposoba rezki gornyx porod pri dobyche blochnogo kamnya iz granitov [Improvement of the flame-jet method of rock cutting during the extraction of block stone from granites], Povetkin V.V. [et al.], Poisk [Search]. 2017. No. 1 (1). 176–182 pp. (in Russian)
8. Study of thermal stonecutting tools / Nurymov Ye. [et al.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. V. 8. 22–27 pp. (in English)
9. High velocity thermal spraying tools used in technological processes and productions / Bukayeva A. [et al.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. V. 10. 474–479 pp. (in English)
10. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Bukayeva A.Z. Primenenie sverkhzvukovykh termoinstrumentov pri remonte truboprovodov [Use of supersonic thermal tools in pipeline repair], Sbornik trudov XXIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka» [Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference «Mechanical Engineering and Technosphere of the 21st Century»]. Donetsk: MCM, 2016. V. 2. 84–89 pp. (in Russian)

**Сведения об авторах:**

**Букаева А.З.**, доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Машиностроение и транспорт», Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан), [amina\\_bukaeva@mail.ru](mailto:amina_bukaeva@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

**Поветкин В.В.**, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [vv1940\\_povetkin@mail.ru](mailto:vv1940_povetkin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Букаева А.З.**, «Машина жасау және көлік» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, доктор Ph.D, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті (Актау қ., Қазақстан)

**Поветкин В.В.**, «Машина жасау» кафедрасының т.ғ.д., профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Bukaeva A.Z.**, Ph.D, associate professor, department of Mechanical engineering and transport, Caspian university of technology and engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

**Povetkin V.V.**, doctor of technical sciences, professor, department of Mechanical engineering, Kazakh national technical university named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)



**14-16 АПРЕЛЯ  
2026 ГОДА**

ГОРОД КАЗАНЬ

**25-АЯ ЮБИЛЕЙНАЯ  
ЕЖЕГОДНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ МАС ГНБ**

главное событие 2026 года в области  
бестраншейного строительства  
подземных коммуникаций  
на постсоветском пространстве

Код МРНТИ 52.35.29

А. Амангелдіқызы, А.Н. Копобаева, \*Н.С. Асқарова, Ә. Бакыт  
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет  
им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

## ИЗУЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УГЛЯХ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

**Аннотация.** Целью настоящей работы является изучение распределения благородных металлов в углях и глинистых прослоях Карагандинского угольного бассейна (Центральный Казахстан). Для диагностики геохимических особенностей изучено 85 проб угля, глинистых прослоев пласта к7 и их контактовых зон, которые анализировались с использованием методов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии (ICP-OES и ICP-MS). По результатам геохимического анализа установлено, что в пласте к7, *Ag* в глинистых прослоях и зонах контакта варьируется от 0,1 до 0,5 г/т, в то время как общее содержание *Ag* в угле составляет от 0,1 до 0,3 г/т. Также по результатам анализов построены графики вертикального и латерального распределения *Ag*. Установлены микро-минеральные формы нахождения самородного *Au*, электрума? *AuAg* в образцах глинистых прослоев и контактовых зон угля с глинистыми прослоями.

**Ключевые слова:** пласт к7, геохимия, благородные металлы, распределение, угли, минералы.

### Карағанды көмір бассейнінің көміріндегі асыл металдарды зерттеу

**Аннотация.** Бұл жұмыстың мақсаты Карағанды көмір бассейнінің (Орталық Қазақстан) көмірлер мен саз аралық қабақтарында асыл металдардың таралуын зерттеу болып табылады. Геохимиялық белгілерді диагностикалау үшін көмірдің 85 үлгісі, к7 қабатының саз аралық қабақтары және олардың жанасу аймақтары зерттелді, олар индуктивті байланысқан плазмалық және масс-спектрометриямен (ICP-OES және ICP-MS) атомдық эмиссиялық спектроскопия әдістерін қолдану арқылы талданды. Геохимиялық талдау нәтижелері бойынша к7 қабатында, саз аралық қабақтар мен жанасу аймақтарында *Ag* 0,1-0,5 г/т ауытқаса, көмірдегі жалпы *Ag* мөлшері 0,1-0,3 г/т болатыны анықталды. Сондай-ақ талдау нәтижелері бойынша *Ag* тік және бүйірлік таралу графикалары тұрғызылды. Жергілікті *Au*, электрумын микроминералды формалары? Саз аралық қабақтарының үлгілеріндегі *AuAg* және көмірдің саз аралық қабақтарымен жанасу аймақтары анықталды.

**Түйінді сөздер:** к7 қабаты, геохимия, асыл металдар, таралу, көмір, минералдар.

### Study of precious metals in coals of the Karaganda coal basin

**Abstract.** The purpose of this work is to study the distribution of precious metals in coals and clay layers of the Karaganda coal basin (Central Kazakhstan). To diagnose geochemical features, 85 samples of coal, clay layers of the k7 formation and their contact zones were studied, which were analyzed using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and mass spectrometry (ICP-OES and ICP-MS) methods. According to the results of geochemical analysis, it was found that in the k7 formation, *Ag* in clay layers and contact zones varies from 0.1 to 0.5 g/t, while the total *Ag* content in coal ranges from 0.1 to 0.3 g/t. Also, based on the analysis results, graphs of vertical and lateral *Ag* distribution are constructed. Have micromineral forms of finding native *Au* and electrum been established? *AuAg* in samples of clay interlayers and contact zones of coal with clay interlayers.

**Key words:** k7 seam, geochemistry, precious metals, distribution, coals, minerals.

### Введение

В соответствии с положениями Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года, а также в контексте реализации стратегических направлений перехода к «зеленой экономике», предполагается, что расширение использования угля будет способствовать активизации научных исследований и разработке инновационных, экологически безопасных технологий его добычи, сжигания и переработки.

В условиях истощения запасов традиционных легкообогатимых руд актуальной задачей становится расширение минерально-сырьевой базы Республики Казахстан за счет вовлечения в промышленный оборот нетрадиционных источников минерального сырья. Уголь все чаще рассматривается в качестве перспективного объекта для комплексных исследований, направленных на выявление его потенциала как источника благородных и редких металлов.

Впервые добыча золота из угля началась более века назад в США [1], и в последние годы возобновился интерес к углям как источнику стратегических металлов [2–6]. Существуют многочисленные свидетельства золотой минерализации в угле [3–7]. На сегодняшний день исследователями установлены высокие содержания многих примесных элементов в углях, в том числе благородных, редких и редкоземельных элементов [8–11], представляющих стратегическое значение для минерально-сырьевой базы страны. Несмотря на это, уголь, включая обогащенные металлами разновидности, в настоящее время преи-

мущественно рассматривается как энергетическое сырье.

Несмотря на существенные достижения в изучении благородно-металльного оруденения в углях и на значительное внимание, уделяемое изучению процессов аккумуляции золота в угленосных формациях, вопросы, касающиеся геохимических особенностей поведения золота в угольных пластах, условий его нахождения, а также механизмов формирования аномально высоких концентраций, остаются недостаточно изученными и требуют дальнейших комплексных исследований. Исследования в этой области продолжаются, и их результаты могут иметь важное значение для разработки новых методов добычи и обеспечения устойчивости поставок этих ценных материалов.

Представленная работа посвящена изучению оригинальных данных по геохимии и минералогии углей Карагандинского угольного бассейна, полученных авторами в результате комплексных минералого-геохимических исследований на территории данного бассейна. Авторами проведены комплексные исследования минерализации углей, получены новые данные о распределении благородных металлов (БМ) в углях и глинистых прослоях Карагандинского угольного бассейна (Центральный Казахстан).

### Характеристика объекта

Карагандинский угольный бассейн (КУБ) является одним из старейших и крупнейших угледобывающих объектов Центральной Азии и ключевым элементом топливно-энергетического и металлургического комплексов Казахстана. Его значение определяется значительными запасами высококачественного угля, включая ценные марки



Таблица 1

*Результаты содержания Ag шахты Саранская, г/т*

Кесте 1

*Саран шахтасында Ag мөлшерінің нәтижелері, г/т*

Table 1

*Results of the Ag contents of the Saranskaya mine, g/t*

шахта Саранская										
	Точка отбора № 1					Точка отбора № 2				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.120	0.173	0.164	0.206	0.104	0.154	0.154	0.157	0.177	0.149
	Точка отбора № 3					Точка отбора № 4				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.137	0.153	0.133	0.163	0.109	0.128	0.174	0.274	0.443	0.124
	Точка отбора № 5									
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН					
Ag	0.291	0.167	0.150	0.146	0.129					

Таблица 2

*Результаты содержания Ag шахты им. Т. Кузембаева, г/т*

Кесте 2

*Т. Кузембаев шахтасында Ag мөлшерінің нәтижелері, г/т*

Table 2

*Results of the Ag contents of the T. Kuzembayev mine, g/t*

шахта им. Кузембаева										
	Точка отбора № 1					Точка отбора № 2				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.133	0.245	0.289	0.536	0.340	0.296	0.490	0.297	0.394	0.268
	Точка отбора № 3					Точка отбора № 4				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.566	0.572	0.334	0.429	0.316	0.364	0.372	0.390	0.457	0.301
	Точка отбора № 5					Точка отбора № 6				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.319	0.448	0.349	0.448	0.231	0.319	0.411	0.301	0.387	0.283
	Точка отбора № 7					Точка отбора № 8				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.514	0.466	0.294	0.403	0.258	0.288	0.512	0.313	0.451	0.267

Таблица 3

*Результаты содержания Ag шахты Актасская, г/т*

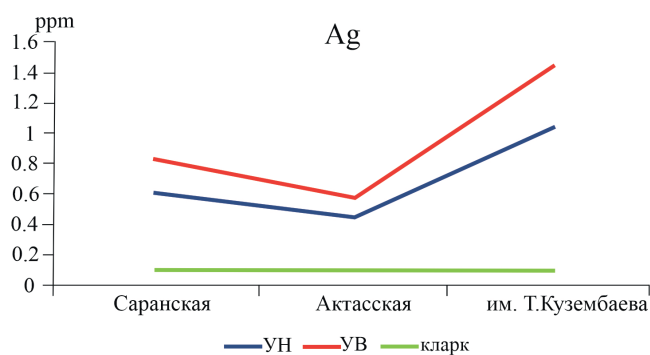
Кесте 3

*Ақтас шахтасында Ag мөлшерінің нәтижелері, г/т*

Table 3

*Results of the Ag contents of the Aktass mine, g/t*

шахта Актасская										
	Точка отбора № 1					Точка отбора № 2				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.155	0.171	0.416	0.151	0.131	0.139	0.244	0.148	0.144	0.092
	Точка отбора № 3					Точка отбора № 4				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.152	0.143	0.138	0.136	0.108	0.133	0.142	0.155	0.142	0.117



**Рис. 2. График распределения Ag в углях Карагандинского угольного бассейна.**

*Примечание. УВ – уголь верхний, УН – уголь нижний, кларк по [12].*

**Сурет 2. Қарағанды көмір бассейнінің көмірлеріндегі Ag таралу графигі.**

*Ескерту. УВ – жоғарғы көмір, УН – төменгі көмір, кларк [12] бойынша.*

**Figure 2. Graph of Ag distribution in coals of the Karaganda coal basin.**

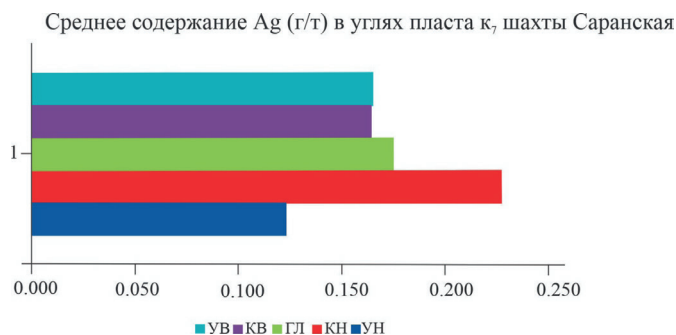
*Note. UV – upper coal, UN – lower coal, clarke – clarke by [12].*

Суммарное количество Ag в глинистых прослоях и зонах контакта варьируется от 0,1 до 0,5 г/т, в то время как общее содержание Ag в угле составляет от 0,1 до 0,3 г/т. Эти данные показывают, что повышенное содержание Ag связано с глинистыми прослоями и зонами контакта между углем и глинистыми прослоями (КВ и КН), что подтверждается графиками вертикального распределения (рис. 3, 4, 5).

Вертикальное распределение Ag характеризуется выраженной неоднородностью. В пределах трех исследованных шахт зафиксированы существенные различия в содержании данного элемента. Подобные вариации могут указывать на наличие специфических механизмов поступления элемента в угленосные горизонты, особенности его аккумуляции, а также на различия в геохимических условиях формирования угольного бассейна.

На шахте Саранская (рис. 3) установлено локальное повышение содержания серебра (Ag) в зоне контакта (КН) между нижней частью угольного пласта и глинистыми прослоями. Пространственное распределение концентраций Ag в глинистых прослоях (ГП) и в кровле угольного пласта (УВ) характеризуется относительной однородностью, что свидетельствует о более равномерном характере аккумуляции Ag в данных интервалах. В то же время в нижней части пласта (УН) содержание Ag находится на минимальном уровне, указывая на возможное отсутствие условий для его накопления.

На рис. 4 представлено вертикальное распределение содержания серебра (Ag) в угольном пласте к7 шахты Актасская. Максимальные концентрации серебра установлены в глинистых прослоях (ГП), что, вероятно, обусловлено высокой сорбционной способностью глинистого материала, который может служить природным геохимическим барьером, способствующими осаждению и закреплению микроэлементов [12].



**Рис. 3. Вертикальное распределение Ag в углях шахты Саранская.**

*Примечание. УВ – уголь верхний, КВ – контакт верхний угля с глинистым прослоем, ГП – глинистый прослой, КН – контакт нижний глинистого прослоя с углем, УН – уголь нижний.*

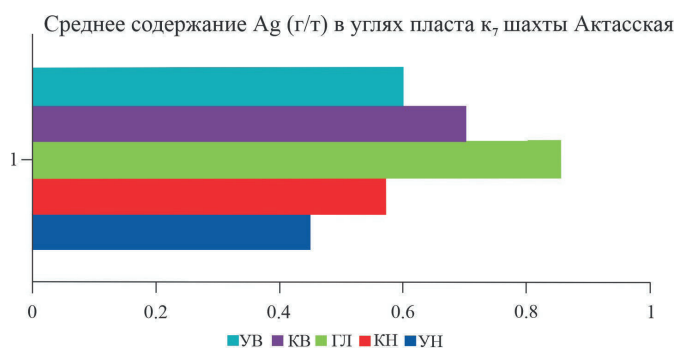
**Сурет 3. Саран шахтасының көмірлерінде Ag тік таралуы.**

*Ескерту. УВ – жоғарғы көмір, КВ – көмірдің сазды аралық қабатпен жоғарғы жанасуы, ГП – сазды аралық қабат, КН – сазды аралық қабаттың көмірмен төменгі жанасуы, УН – төменгі көмір.*

**Figure 3. Vertical distribution of Ag in coals of the Saran mine.**

*Note. UV – upper coal, KV – upper contact of coal with clayey interlayer; GP – clayey interlayer, KN – lower contact of clayey interlayer with coal, UN – lower coal.*

Контактные зоны угля с кровлей (КВ) и подошвой (КН) глинистых прослоев характеризуются относительно низкими значениями содержания серебра, что может указывать на менее благоприятные условия для его накопления [10–12].



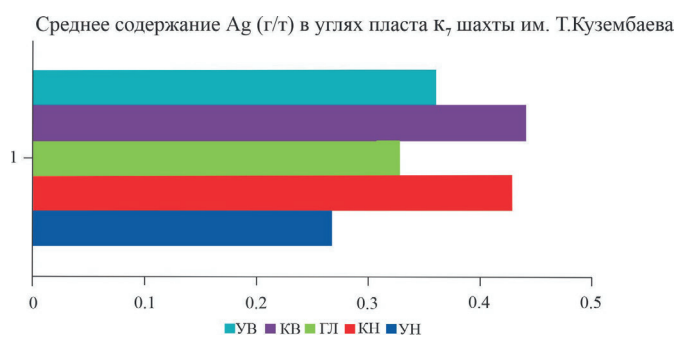
**Рис. 4. Вертикальное распределение Ag в углях шахты Актасская.**

**Сурет 4. Актас шахтасының көмірлерінде Ag тік таралуы.**

**Figure 4. Vertical distribution of Ag in coals of the Aktas mine.**

Отмечается, что содержание Ag в кровле угольного пласта (УВ) превышает его концентрацию в подошве (УН), это может быть обусловлено различием в геохимических условиях формирования и последующего преобразования пород, к примеру, выше расположенные горизонты могли быть подвержены большему влиянию инфильтрационных потоков, обогащенных Ag.

На шахте имени Т. Кузембаева анализ вертикального распределения **Ag** (рис. 5) демонстрирует максимальные значения в зонах контакта угольной кровли и подошвы с глинистыми прослоями (КВ и КН). Содержание **Ag** в кровле (УВ) превышает его содержание в подошве (УН). При этом содержание в глинистых прослоях (ГЛ) находится на уровне, близком к среднему, что, по-видимому, связано с менее выраженной сорбционной емкостью в сравнении с контактными зонами.



**Рис. 5. Вертикальное распределение **Ag** в углях шахты им. Т. Кузембаева.**

**Сурет 5. Т. Күзембаев шахтасының көмірлеріндегі **Ag** тік таралуы.**

**Figure 5. Vertical distribution of **Ag** in coals of the T. Kuzembaev mine.**

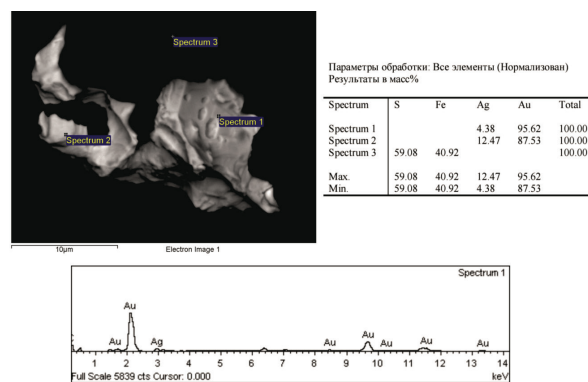
Принадлежность использованного прецизионного оборудования к мировому классу исследовательских приборов обуславливают соответствующий уровень качества полученных материалов. Методом СЭМ-ЭДС проведены исследования 13 проб угля, глинистых прослоев и проб, отобранных на контакте угля с вмещающими породами, и получены дисперсионные спектры состава с использованием рентгеноспектрометра.

В результате исследований комбинированным методом SEM + EDS установлена весьма скудная благородно-металлическая минерализация, и микро-минеральные формы нахождения БМ в изученных образцах демонстрируют лишь единичную встречаемость минеральных фаз, имеющих в составе **Au** и **Ag**. Тем не менее, использованными методами удалось установить микровключения самородного золота **Au** (рис. 6) размером от 0.5 до 10 мкм в матрице пирита преимущественно в образцах, отобранных из глинистых прослоев, что в свою очередь также указывает на сульфидную (аутигенную) природу накопления [12].

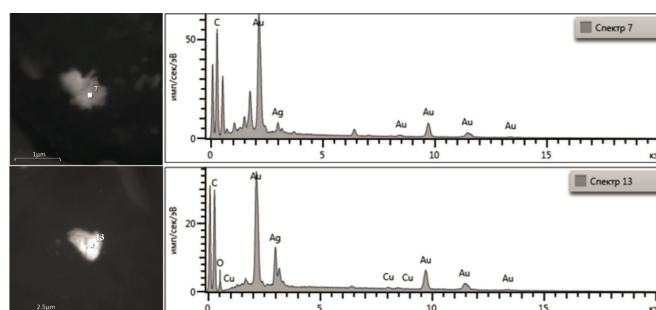
Также в образцах глинистых прослоев и контактовых зон угля с глинистыми прослоями обнаружены микровключения электрума? (**AuAg**) (рис. 7), что возможно указывает на его первичное накопление в глинистых прослоях и дальнейшее осаждение в восстановительной среде, характерной угольным пластам.

## Закключение

В результате проведенных исследований получена дополнительная информация о геохимических характеристиках



**Рис. 6. Включения самородного **Au**.  
Сурет 6. Табиғи **Au** қосындылары.  
Figure 6. Inclusions of native **Au**.**



**Рис. 7. Микровключения электрума? (**AuAg**).  
Сурет 7. Электрумның? (**AuAg**) микрокосындылары.  
Figure 7. Electrum? (**AuAg**) microinclusions.**

углей пласта к<sub>7</sub>. Угли пласта к<sub>7</sub> Карагандинского угольного бассейна характеризуются содержаниями **Ag** выше кларковых значений. По вертикальному распределению БМ в пласте установлены концентрации элемента преимущественно в глинистых прослоях и контактовых зон угля и глин. Методом СЭМ ЭДС установлены микровключения самородного золота **Au** размером от 0.5 до 10 мкм в матрице пирита преимущественно в образцах, отобранных из глинистых прослоев, а также микровключения электрума? (**AuAg**).

Таким образом, выявленное распределение БМ демонстрирует четкую литологическую избирательность и отражает син- и эпигенетическую природу его накопления. Полученные данные могут использоваться для оценки геохимического потенциала угленосной толщи и при прогнозировании локальных зон концентрации благородных металлов, в том числе в целях углехимического и металлорудного районирования. В целом, контактные зоны и глинистые прослои в угленосных толщах представляют потенциальные объекты для целенаправленных поисков дисперсных форм благородных металлов, в том числе с целью оценки их техногенно-экономической значимости при комплексной переработке угля.

## Благодарность

Данная статья подготовлена по результатам исследований, финансируемых Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26102801).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jenney W.P. Полевые наблюдения в угольном бассейне Хей-Крик // *US Geol. Surv. 19th Ann. Rep.* 1903. Т. 2. С. 568–593 (на английском языке)
2. Seredin V., Finkelman R.B. Металлоносные угли: обзор основных генетических и геохимических типов // *Int. J. Coal Geol.* 2008. Т. 76. С. 253–289 (на английском языке)
3. Сорокин А.П., Кузьминых В.М., Рождествина В.И. Золото в бурых углях: условия локализации, формы нахождения и методы извлечения // *Dokl. Earth Sci.* 2009. Т. 424. С. 109–113 (на английском языке)
4. Достижения геохимических исследований золота в угле / Wang W.F. [и др.] // *J. China Coal Soc.* 2010. Т. 35. С. 236–240 (на английском языке)
5. Shelgani S.C., Hower J.C. Связь между благородными металлами как потенциальными продуктами сжигания угля и традиционными свойствами угля // *Fuel.* 2018. Т. 226. С. 345–349 (на английском языке)
6. Parnell J. Варисканский цикл золота в глобальном угольном резервуаре // *OreGeol. Rev.* 2019. Т. 114. С. 103158 (на английском языке)
7. Romer R.L., Kroner U. Палеозойское золото в Аппалачах и Варисцидах // *OreGeol. Rev.* 2018. Т. 92. С. 475–505 (на английском языке)
8. Аномальное содержание золота в бурых углях и торфах юго-восточной части Западно-Сибирской платформы / Арбузов С.И. [и др.] // *Int. J. Coal Geol.* 2006. Т. 68. С. 127–134 (на английском языке)
9. Середин В.В. Распределение и условия образования минерализации благородных металлов в угленосных бассейнах // *Geol. Ore Deposits.* 2007. Т. 49. С. 1–30 (на английском языке)
10. Blyalova G., Amangeldykyzy A., Korobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. (12 февраля 2025 г.). Комплексное исследование пространственного распределения редкоземельных элементов в углях месторождения Шубаркуль, Казахстан. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min15020170> (на английском языке)
11. Korobayeva A., Amangeldykyzy A., Blyalova G., Askarova N. (27 марта 2024 г.). Минералогические и геохимические особенности углей и глинистых прослоев Карагандинского угольного бассейна // *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min14040349> (на английском языке)
12. Юдович Я.Е., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с. (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Jenney W.P. Хей-Крик көмір алабындағы далалық бақылаулар // *US Geol. Surv. 19th Ann. Rep.* 1903. Т. 2. Б. 568–593 (ағылшын тілінде)
2. Seredin V., Finkelman R.B. Метал мен қаныққан көмірлер: негізгі генетикалық және геохимиялық түрлерінің шолуы // *Int. J. Coal Geol.* 2008. Т. 76. Б. 253–289 (ағылшын тілінде)
3. Сорокин А.П., Кузьминых В.М., Рождествина В.И. Қоңыр көмірлердегі алтын: шоғырлану жағдайлары, кездесетін формалары және алу әдістері // *Dokl. Earth Sci.* 2009. Т. 424. Б. 109–113 (ағылшын тілінде)
4. Көмірдегі алтын бойынша геохимиялық зерттеулердің жетістіктері / Wang W.F. [және т. б.] // *J. China Coal Soc.* 2010. Т. 35. Б. 236–240 (ағылшын тілінде)
5. Shelgani S.C., Hower J.C. Көмір жағудан кейінгі өнімретіндегі бағалы металдар мен дәстүрлі көмір қасиеттерінің арасындағы байланыс // *Fuel.* 2018. Т. 226. Б. 345–349 (ағылшын тілінде)
6. Parnell J. Варискандық цикл арқылы алтынның жаһандық көмір қоймасына өтуі // *OreGeol. Rev.* 2019. Т. 114. Б. 103158 (ағылшын тілінде)
7. Romer R.L., Kroner U. Аппалачи және Варисцидтегі палеозой дәуіріндегі алтын // *OreGeol. Rev.* 2018. Т. 92. Б. 475–505 (ағылшын тілінде)
8. Батыс Сібір платформасының оңтүстік-шығысындағы қоңыр көмір мен шымтезектегі аномальды алтын мөлшері / Арбузов С.И. [және т. б.] // *Int. J. Coal Geol.* 2006. Т. 68. Б. 127–134 (ағылшын тілінде)
9. Середин В.В. Көмірлі алаптардағы бағалы металдардың минералдануының таралуы мен қалыптасу шарттары // *Geol. Ore Deposits.* 2007. Т. 49. Б. 1–30 (ағылшын тілінде)
10. Blyalova G., Amangeldykyzy A., Korobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. (12 февраля 2025 г.). Қазақстандағы Шұбаркөл кенорнындағы көмір құрамындағы сирекжер элементтерінің кеңістіктік таралуын кешенді зерттеу. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min15020170> (ағылшын тілінде)
11. Korobayeva A., Amangeldykyzy A., Blyalova G., Askarova N. (27 наурыз 2024 ж.). Қарағанды көмір алабының көмірі мен сазды қабаттарының минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктері. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min14040349> (ағылшын тілінде)

12. Юдович Я.Е., Кетрис М.П. Көмірлердегі бағалы элемент-қоспалар: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 б. (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Jenney W.P. Field observations in the Hay Creek coal field. *US Geol. Surv. 19th Ann. Rep. 1903. V. 2. 568–593 pp. (in English)*
2. Seredin V., Finkelman R.B. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types. *Int. J. Coal Geol. 2008. V. 76. 253–289 pp. (in English)*
3. Sorokin A.P., Kuz'minykh V.M., Rozhdestvina V.I. Gold in brown coals: Localization conditions, modes of occurrence, and methods of extracting // *Dokl. Earth Sci. 2009. V. 424. 109–113 pp. (in English)*
4. Advances in geochemical research on gold in coal. / Wang W.F. [et al.] // *J. China Coal Soc. 2010. V. 35. 236–240 pp. (in English)*
5. Chelgani S.C., Hower J.C. Relationships between noble metals as potential coal combustion products and conventional coal properties // *Fuel. 2018. V. 226. 345–349 pp. (in English)*
6. Parnell J. Variscan cycling of gold into a global coal reservoir // *Ore Geol. Rev. 2019. V. 114. 103158 p. (in English)*
7. Romer R.L., Kroner U. Paleozoic gold in the Appalachians and Variscides // *Ore Geol. Rev. 2018. V. 92. 475–505 pp. (in English)*
8. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform / Arbuzov S.I. [et al.] // *Int. J. Coal Geol. 2006. V. 68. 127–134 pp. (in English)*
9. Seredin V.V. Distribution and formation conditions of noble metal mineralization in coal-bearing basins // *Geol. Ore Deposits. 2007. V. 49. 1–30 pp. (in English)*
10. Blyalova G., Amangeldikyzy A., Kopobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. (February 12, 2025). Comprehensive study of the spatial variations in the distribution of rare earth elements (REE) and their potential in the coals of the Shubarkol deposit, Kazakhstan. *Minerals. <https://doi.org/10.3390/min15020170> (in English)*
11. Kopobayeva A., Amangeldikyzy A., Blyalova G., Askarova N. (March 27, 2024). Mineralogical and geochemical features of coals and clay layers of the Karaganda Coal Basin. *Minerals. <https://doi.org/10.3390/min14040349> (in English)*
12. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Tsennye elementy-primesi v uglyakh [Valuable impurity elements in coals]. *Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. 538 p. (in Russian)*

## Информация об авторах:

**Амангелдіқызы А.**, доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [a.amangeldykyzy@ktu.edu.kz](mailto:a.amangeldykyzy@ktu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0002-6665-8804>

**Копобаева А.Н.**, доктор Ph.D, доцент кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [kopobayeva@inbox.ru](mailto:kopobayeva@inbox.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0601-9365>

**Асқарова Н.С.**, доктор Ph.D, ст. преподаватель кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [n.askarova@ktu.edu.kz](mailto:n.askarova@ktu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0002-2103-6198>

**Бақыт Ә.**, докторант 1 курса кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [b\\_aigerim\\_98@mail.ru](mailto:b_aigerim_98@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0661-310X>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Амангелдіқызы А.**, доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Копобаева А.Н.**, доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доценті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Асқарова Н.С.**, доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазба кен орындарын барлау» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Бақыт Ә.**, «Геология және пайдалы қазба кен орындарын барлау» кафедрасының 1 курс докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Amangeldikyzy A.**, Ph.D, Acting associate professor of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

**Kopobayeva A.N.**, Ph.D, associate professor of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

**Askarova N.S.**, Ph.D, senior lecturer of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

**Bakyt A.**, 1st-year doctoral student of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.07

B. Khusan<sup>1</sup>, S.T. Kakim<sup>1</sup>, \*D.T. Ivadilinova<sup>1</sup>, A.S. Turdaliyeva<sup>2</sup><sup>1</sup>*Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan),*<sup>2</sup>*«Scientific and Production Enterprise «Interrin» LLP (Almaty, Kazakhstan)*

## ANALYSIS OF RESEARCH ON BLASTING OPERATIONS IN THE PREPARATION OF WATER-FILLED OVERBURDEN BLOCKS IN OPEN-CUT MINES

**Abstract.** The article examines the problems of rock mass preparation during stripping operations in open-pit mines in conditions of waterlogging. It provides an overview of the basin's geological characteristics, regulatory and methodological documents for drilling and blasting operations, and actual consumption rates of explosives. The impact of waterlogging on slope stability, equipment productivity, and the economics of stripping operations is analyzed. Three groups of measures to reduce waterlogging are described: general quarry, local, and process; surface, underground, and combined drainage methods are considered. Particular attention is paid to preliminary contour blasting as a local method for creating drainage zones. A conclusion is drawn regarding the need for systematic research into the conditions for applying local and quarry measures to improve the efficiency and safety of blasting operations in waterlogged massifs.

**Key words:** coal basin, water cut, drilling and blasting operations, contour blasting, drying machines, water-resistant explosives, drainage systems.

### Суланған аршу блоктарын дайындау кезінде жарылыс жұмыстарын жүргізу бойынша зерттеулерді талдау

**Аннотация.** Тау жыныстарының сулануы жағдайында аршу жұмыстарын жүргізу кезінде тау-кен массасын дайындау мәселелері қарастырылды. Бассейннің геологиялық сипаттамасы, бұрғылау-жару жұмыстары бойынша нормативтік құжаттарға және жарылғыш заттарды тұтынудың нақты көрсеткіштеріне шолу берілген. Суланудың беткейлердің тұрақтылығына, техниканың өнімділігіне және аршу жұмыстарының экономикасына әсері талданды. Су тасқынын азайту жөніндегі іс-шаралардың үш тобы сипатталған: жалпы мансаптық, жергілікті және процестік; жер үсті, жерасты және аралас құрғату әдістері қарастырылған. Дренаждық аймақтарды құрудың жергілікті әдісі ретінде алдын-ала контурлық жарылысқа назар аударылды, су басқан массивтердегі жарылыс жұмыстарының тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін жергілікті және мансаптық шараларды қолдану жағдайларын зерттеу қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

**Түйінді сөздер:** көмір бассейні, сулану, бұрғылау-жару жұмыстары, контурлық жарылыс, құрғату машиналары, суға төзімді жарылғыш заттар, дренаж жүйелері.

### Анализ исследований по ведению взрывных работ при подготовке обводненных вскрышных блоков на разрезах

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы подготовки горной массы при ведении вскрышных работ на разрезах в условиях обводненности пород. Приведен обзор геологической характеристики бассейна, нормативно-методических документов по буровзрывным работам и фактических показателей расхода взрывчатых веществ. Проанализировано влияние обводненности на устойчивость откосов, производительность техники и экономику вскрышных работ. Описаны три группы мероприятий по снижению обводненности: общекарьерные, локальные и процессные; рассмотрены поверхностный, подземный и комбинированный способы осушения. Особое внимание уделено предварительному контурному взрыванию как локальному методу создания дренажных зон, сделан вывод о необходимости системных исследований условий применения локальных и карьерных мероприятий для повышения эффективности и безопасности взрывных работ в обводненных массивах.

**Ключевые слова:** угольный бассейн, обводненность, буровзрывные работы, контурное взрывание, осушающие машины, водоустойчивые взрывчатые вещества, дренажные системы.

### Introduction

The coal basin has long been the subject of research. Its geological structure has been studied in detail, and a stratigraphic division scheme has been developed. Seven geological-genetic rock complexes have been identified, ranging from Quaternary cover deposits to igneous rocks. Open-pit mining primarily targets rocks of the Kolchugin and Balakhon series. Jurassic rocks (the Tarbagan series) are present in small quantities. They are located primarily in the hypergenesis zone and have low resistance to fracture.

For open-pit mines, regulatory and methodological documents have been developed regulating the key parameters of drilling and blasting operations – specific explosive consumption and blasthole diameter. Analysis of these recommendations and actual drilling and blasting data shows that, in practice, the specific explosive consumption exceeds the recommended values (Table 1). One reason is the high water content of the blasted rocks, which requires a slight increase in the specific explosive consumption.

Currently, about 300 million m of overburden are blasted annually at the open-pit mines of the Management Company (Table 2).

Waterlogging of deposits reduces the stability of mine workings slopes, complicates and increases the cost of construction and maintenance of transport communications in the

quarry, and reduces the productivity of the main mining and transport equipment [1].

### Research methods

Measures aimed at reducing the negative impact of water cut on open-pit mining processes can be divided into three groups:

- general quarry, aimed at reducing water content on the scale of the quarry as a whole or a separate section of it;
- local, covering some relatively small part of the mining front or a separate excavator block;
- process-related, associated with the adaptation of technological processes to the actually existing conditions of water content.

General quarry drainage measures aim to lower groundwater levels by constructing special workings, such as trenches, a network of underground workings, and boreholes. Drainage methods should be selected based on the hydrogeological properties of the rock formations and the groundwater level.

There are three methods of dewatering a deposit:

- surface drainage method – carried out using vertical water-absorbing and horizontal advanced drainage wells;
- underground drainage method – involves the construction of shafts and adits at a deposit or open-pit mine site with the

**Table 1**  
*Values of specific consumption of explosives recommended by regulatory and reference documents and actually used in coal mines during their development by EKG type excavators*

**Кесте 1**

*Нормативтік-анықтамалық құжаттармен ұсынылған және ЭКГ типіндегі экскаваторлармен оларды әзірлеу кезінде көмір бөлімдерінде іс жүзінде қолданылатын ЖВ үлестік шығысының мәндері*

**Таблица 1**

*Значения удельного расхода ВВ, рекомендованные нормативно-справочными документами, и фактически применяемые на угольных разрезах при их разработке экскаваторами типа ЭКГ*

Bucket, m <sup>3</sup>	Parameters		Category of rocks by blockiness				
			I	II	III	IV	V
5	recom.	m	0.190-0.244	0.190-0.216	0.150-0.160	0.150-0.160	0.150-0.160
		kg/m <sup>3</sup>	0.2-0.4	0.45-0.6	0.65-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0
	fact.	m	0.216-0.244	0.216-0.244	0.216	0.216	0.216
		kg/m <sup>3</sup>	0.3-0.4	0.5-0.6	0.6-0.7	0.8-0.9	0.95-1.05
10	recom.	m	0.244-0.269	0.244-0.269	0.190-0.216	0.150-0.160	0.150-0.160
		kg/m <sup>3</sup>	0.2-0.35	0.4-0.55	0.6-0.75	0.75-0.85	0.85-0.95
	fact.	m	0.244-0.269	0.244-0.269	0.216-0.244	0.216	0.216
		kg/m <sup>3</sup>	0.3-0.4	0.5-0.6	0.65-0.75	0.75-0.85	0.9-1.0
15	recom.	m	0.311-0.320	0.311-0.320	0.269-0.311	0.216-0.244	0.216-0.244
		kg/m <sup>3</sup>	0.2-0.3	0.35-0.5	0.55-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9
	fact.	m	0.269	0.269	0.269	0.244	0.244
		kg/m <sup>3</sup>	0.3-0.4	0.5-0.6	0.7-0.8	0.8-0.9	0.95-1.05
20	recom.	m	0.311-0.320	0.311-0.320	0.269-0.311	0.216-0.244	0.216-0.244
		kg/m <sup>3</sup>	0.2-0.3	0.35-0.45	0.45-0.65	0.65-0.75	0.75-0.85
	fact.	m	0.269	0.269	0.269	0.244	0.244
		kg/m <sup>3</sup>	0.3-0.4	0.5-0.6	0.7-0.8	0.8-0.9	0.95-1.05

**Table 2**

*Volume of blasted rock mass at KRU-Vzryvprom LLC from 2004 to 2009, cub. m*

**Кесте 2**

*2004 жылдан 2009 жылға дейін «КРУ-жарылыс» ЖШҚ бойынша жарылған тау массасының көлемі, куб. м*

**Таблица 2**

*Объем взорванной горной массы по ООО «КРУ-Взрывпром» с 2004 по 2009 год, куб. м*

Branch of JSC «UK «KRU»	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Kedrovsky	21953	23989	30922	38920	39,000	32320
Mokhovsky	12008	13012	14154	15845	15444	16407
Sartakinsky	8840	10073	8824	9987	10163	12857
Karakansky	5813	5525	5920	5216	5849	6016
Bachatsky	36858	38186	46129	46571	46990	38597
Krasnobrodsky	27183	31900	37085	44206	50568	37406
Vakhrushevsky	14432	14889	15640	17082	17542	17350
Tallinn	22540	23791	30760	34247	37250	42801
Taiga	3408	8019	12270	16714	18150	21040
Yerunakovsky	7569	9025	9348	9862	10130	12315
Kaltansky	7885	8902	10368	12336	13750	13097
Osinnikovsky	9416	10248	11336	11910	11499	10869
Total of JSC «UK «KRU»	177903	197559	232756	262896	276335	261075

*calculation of drainage of the entire mineral deposit and the rocks overlying them within the technical boundaries of the quarries;*

*- combined method – combines the measures of surface and underground drainage methods.*

When designing the deposits developed by the coal company (UK «KRU»), none of the deposit development plans included measures for dewatering the deposits using these methods. An exception is the «Bachatsky» open-pit mine, where, from 2000 to 2008, work was carried out on drilling horizontal drainage wells to ensure the stability of the quarry walls, following recommendations from VNIMI [2–4].

The creation of local drainage systems for individual blocks is possible through preliminary contour blasting, which creates a gap along the design contour of the bench, which acts as a kind of obstacle to the movement of groundwater flows.

The lowest cost for drilling and blasting operations corresponds to a bench height of  $H = 15$  m. The use of contour blasting allowed for increased bench slopes and pit wall angles, significantly reducing the amount of overburden removal and positively impacting the economics of blasting and drilling operations. This ensures long-term pit wall stability and ensures safe mining operations.

A secondary effect is also noted: lowering the groundwater level, which reduces the proportion of water-resistant explosives in borehole charges. This, in turn, reduces the cost of high-explosive water-resistant explosives and reduces the share of drilling and blasting operations in the cost of ore extraction.

In the cited work, the decrease in water content of the massif is stated as a concomitant effect, which is not considered or studied from a systemic perspective positions.

The possibility of using preliminary blasting of some part of the boreholes with bottom charges to reduce the influx of surface and groundwater within a single drilling and blasting block is considered to varying degrees in the works of the Mining Institute of the Ministry of the Black Sea Fleet of the USSR (1970), as well as the scientific research, design and engineering and design institute UkrNIIproekt (1983).

The first of these projects is aimed at reducing waterlogging of the Kovdor Mining and Processing Plant quarry benches. The adopted quarry drainage plan included the following: minimizing the flow of groundwater from Quaternary deposits into the quarry, as well as the groundwater level associated with fractured rock formations; eliminating the possibility of ice formation on the bench work areas; and ensuring the removal of groundwater and atmospheric water entering the quarry.

These deposit features predetermined an effective method for draining bench work areas by creating directed zones of increased fracturing and permeability within the bench rock mass. Such a zone, as demonstrated by the authors, can be created by pre-blasting a series of boreholes with bottom charges. As a result, a zone of increased permeability is created along the line of bottom charges in the pre-blasted boreholes, which serves as a localized drainage system for the blasted block.

In our opinion, the use of preliminary contour blasting to reduce the water content of blast blocks is most fully reflected in the works of S.V. Grishin, as well as in our joint publications.

The results of this study are widely used at the coal company's open-pit mines during the preparation of high overburden blocks requiring the slope of the next bench along the mining front. The idea is that by incorporating a bottom charge of water-resistant explosives into the contour charge design, a zone of increased filtration can be created along the lower perimeter of the block; this zone, combined with the gap formed after blasting the contour borehole system, will act as a local drainage system for the block [5].

It should be noted once again that the cited results apply to high benches that require slopes to ensure safer equipment operation during coal seam mining (non-transport technology) or during the unloading of blasted rock mass immediately adjacent to the newly formed bench when the excavator is positioned at the lower working platform. The height of such open-pit benches is over 30 meters.

### Results

The main directions of scientific research into the technology, engineering and organization of drilling and blasting operations during the preparation of rock mass in flooded conditions are as follows:

*- development of new types of water-resistant explosives based on ammonium nitrate as a cheap and safe oxidizer in the composition of simple explosives, with the addition of various types of components as a combustible component, as well as means of technologically sufficient long-term protection from the effects of water [6, 7];*

*- justification of the parameters of drilling and blasting operations in waterlogged rocks;*

*- development of means for waterproofing charges of non-water-resistant explosives and the corresponding technology for loading wells;*

*- development of technical means for removing water from blastholes before charging them;*

*- reducing the water content of the blasted massif by creating quarry or local drainage systems.*

The use of dewatering machines simplifies the borehole charging process, reduces labor intensity, and partially replaces water-resistant explosives with non-water-resistant ones. In open-pit mines, this process has been studied using both compressed air dewatering with foaming additives and simple water pumping [8]. Similar research and the development of recommendations on the technology, organization of blasting and drilling operations, and the range of explosives have also been conducted for quarries producing mining and chemical raw materials with complex hydrogeological conditions [9].

The first of these borehole dewatering methods was developed, in particular, by the branch of the Research Institute of Ore Mining and Mining in conjunction with the Kemerovo Coal Production Association, with the direct participation of I.B. Katanov. The feasibility of using foam-gel compositions stems from the ability to prepare them from readily available foam-gelling components using modernized dewatering machines available at open-pit mines. Thus, for dewatering blast-

holes, it was proposed to use the MO-1 dewatering machine, which operates by removing water from the boreholes using compressed air and a foaming agent. The unit is mounted on a MAZ-509 truck and is equipped with a compressor, a mechanism for raising and lowering the hose, and a sulfanol tank. The MO-1 dewatering machine is equipped with a reel for the dewatering hose and a console for aiming the water-removal device at the borehole. There is no water drainage.

For wells ranging in diameter from 150 to 311 mm and depths up to 30 m, the MO-1 dewatering machine can remove water from wells from 3 to 30 m deep with a capacity of 900 to 1200 l/min. Tests have shown that the machine's theoretical capacity, taking into account cycle time, including travel, maintenance breaks, and the installation of a water-diverting funnel at the wellhead, is up to 250 wells per shift.

The main disadvantages of the MO-1 are, firstly, a residual water column of 1–2 meters in the well after water removal; secondly, the rapid restoration of the well's water level due to the discharged water, which remains near the wellhead and immediately refills the well. After testing, the MO-1 unit was not widely used. This technology has not found practical application in open-pit mines.

In his review papers, B.N. Kutuzov proposed using well dewatering units, such as the UOS-250, developed by NIPIGormash, to remove water from boreholes with stagnant water immediately before loading. The operating principle is based on mechanical pumping of water from boreholes. The unit is mounted on a GAZ-66 vehicle and equipped with a pump, drive system, and a hose reel. The unit's capacity is 250 liters per minute. A major drawback of this unit is its limited well dewatering depth of 20 meters.

In open pit mines, water is present to some degree in every second blasthole. Its presence impedes the formation of proven borehole charge designs that ensure high-quality preparation of the rock mass for excavation. This applies to charge dispersal in the presence of water, their waterproofing when using non-water-resistant explosives, and the means and methods for stemming heavily watered boreholes.

Due to the predominant volume of stripping operations using motor vehicles, the majority of flooded wells are up to 30 m deep. However, the water column height is generally limited to 6 m.

In production conditions, the main technological directions for increasing the efficiency of blasting operations in flooded

conditions are the improvement of the means and methods for forming borehole charges in flooded boreholes and the justified use of special methods for preparing for charging individual boreholes or a blasting block [10].

The second of these areas includes preliminary contour blasting as a special means of reducing the water content of the block and removing water from wells using dewatering machines.

Preliminary contour blasting is one means of reducing block water cut. Currently, well-founded recommendations for contour blast parameters are available for high benches – dual transport or non-transport benches – where water cut reduction is achieved simultaneously with backslope blasting to improve slope stability and ensure the safety of mining operations at the lower working platform. For predominantly transport overburden volumes, where backslope blasting is not mandatory, preliminary contour blasting to reduce water cut should be considered a special measure, the feasibility of which has not yet been studied and lacks scientific justification.

Removing water from boreholes using dewatering machines can, in some cases, lower the water level for a relatively short period of time. However, there are blasting blocks in which the water inflow into the boreholes is comparable to the pump capacity of the dewatering unit, which clearly predetermines the impracticality of using dewatering machines [11]. The conditions for using dewatering machines in relation to hydrogeological factors, their adaptability when used in conjunction with charging machines, and the relationship of this method to preliminary, contour blasting for reducing water cuts in the block as a whole are currently unresolved issues that require scientific research.

### Conclusion

It follows from the above that the development and study of the effectiveness of technological means for forming charges in flooded boreholes, the study of the conditions for the feasibility of contour blasting as a special measure aimed only at reducing the water content of blast blocks, the establishment of conditions for the use of drying machines as an alternative to contour blasting, will make it possible to obtain the results necessary to increase the effectiveness of blasting operations not only in open-pit coal mines, but also in the open-pit mining of other minerals, where the preparation of the rock mass for excavation is carried out by blasting.

### REFERENCES

1. *Burovzryvnye raboty na razrezakh Kuzbassa. Monografiya po vzryvnykh rabotam na razrezakh Kuzbassa [Drilling and Blasting Operations in Kuzbass Open Pits. Monograph on Blasting Operations in Kuzbass Open Pits], V.I Kuznetsov et al. Moscow: Kemerovskoe knizhnoe izdatel'stvo. 1989. 92–98 pp. (in Russian)*
2. *Galim'yanov A.A., Sobolev A.A. Otsenka vliyaniya glubiny razrabotki ugol'nykh mestorozhdenii na osnovnye pokazateli burovzryvnykh rabot na predpriyatii «Urgalugol'» [Assessing the Impact of Coal Deposit Development Depth on the Key Performance Indicators of Drilling and Blasting Operations at the Urgalugol Enterprise], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2021. No. 12–1. 69–75 pp. (in Russian)*
3. *Kabidenova A.S. Sovershenstvovanie burovzryvnykh rabot na predel'nom konture kar'era [Improving drilling and blasting operations at the final contour of a quarry], Vestnik nauki [Science Bulletin]. 2021. No. 2 (35). 83–86 pp. (in Russian)*

4. Blastability and ore grade assessment from drill monitoring for open pit applications / Navarro J. [et al.] // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2021. V. 54. 3209–3228 pp. (in English)
5. Zdechlik R., Chudzik W. Open-pit mine dewatering based on water recirculation – case study with numerical modeling // *Energies*. 2021. No. 14 (15). 4576 p. (in English)
6. Zharikov S.N., Shemenev V., Kutuyev V. Ob osobennostyakh proizvodstva burovzryvnykh работ v usloviyakh Severa [On the Features of Drilling and Blasting Operations in the North], *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use]. 2017. No. 3. 1–7 pp. (in Russian)
7. Otsenka sovremennogo sostoyaniya burovzryvnykh работ i neobkhodimost' osushchestvleniya perekhodnykh protsessov na nekotorykh krupnykh gornykh predpriyatiyakh Urala i Sibiri [Assessment of the Current State of Drilling and Blasting Operations and the Need to Implement Transitional Processes at Some Large Mining Enterprises in the Urals and Siberia], Regotunov A.S. [et al.], *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use]. 2021. No. 2. 52–62 pp. (in Russian)
8. Martyanov V.L., Kolesnikov V.F., Lapaev M.N. Issledovanie parametrov burovzryvnykh работ pri kombinirovannoi tekhnologii razrabotki naklonnykh mestorozhdenii [Study of the parameters of drilling and blasting operations in the combined technology of developing inclined deposits], *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela* [Engineering and Technology of Mining]. 2022. No. 3 (18). 53–78 pp. (in Russian)
9. Prediction and optimization of open-pit mine blasting based on intelligent algorithms / Guo J. [et al.] // *Applied Sciences*. 2024. No. 14 (13). 5609 p. (in English)
10. Wu X., Zhu D., Lu H., Li L. (July 10, 2024). Simulation research on blasting of an open pit mine slope considering elevation conditions and slope shape factors. *Frontiers in Earth Science*. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1417895> (in English)
11. Tiwari A., Yadav R.K., Das B. Blasting impact on environment and their control measure techniques in open cast mining // *Journal of Ecology and Natural Resources*. 2022. No. 6 (2). 1–4 pp. (in English)

#### ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кузбасс кесінділеріндегі бұрғылау-жару жұмыстары. Кузбасс кесінділеріндегі жарылыс жұмыстары бойынша монография / В.И. Кузнецов [және т. б.]. Мәскеу: Кемерово кітап баспасы. 1989. Б. 92–98 (орыс тілінде)
2. Галимьянов А.А., Соболев А.А. Кәмір кен орындарын игеру тереңдігінің «Ургалуголь» кәсіпорнындағы бұрғылау-жару жұмыстарының негізгі көрсеткіштеріне әсерін бағалау // *Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені*. 2021. № 12–1. Б. 69–75 (орыс тілінде)
3. Қабиденова А.С. Карьердің шекті контурында бұрғылау-жару жұмыстарын жетілдіру // *Ғылым хабаршысы*. 2021. № 2 (35). Б. 83–86 (орыс тілінде)
4. Ашық карьерлерде бұрғылау мониторингі деректері бойынша кеннің жарылыс қаупі мен сапасын бағалау / Наварро Дж. [және т. б.] // *Тау жыныстарының механикасы және тау-кен дело*. 2021. Т. 54. Б. 3209–3228 (ағылшын тілінде)
5. Зdechlik P., Chudzik V. Суды қайта өңдеуге негізделген карьерлерді дренаждау сандық модельдеудің мысалы болып табылады // *Энергетика*. 2021. № 14 (15). Б. 4576 (ағылшын тілінде)
6. Жариков С.Н., Шемениев В., Қутуев В. Солтүстік жағдайында бұрғылау-жару жұмыстарын жүргізудің ерекшеліктері туралы // *Жер қойнауын пайдалану мәселелері*. 2017. № 3. Б. 1–7 (орыс тілінде)
7. Бұрғылау-жару жұмыстарының қазіргі жай-күйін бағалау және Орал мен Сібірдің кейбір ірі тау-кен кәсіпорындарында өтпелі процестерді жүзеге асыру қажеттілігі / Реготунов А.С. [және т. б.] // *Жер қойнауын пайдалану мәселелері*. 2021. № 2. Б. 52–62 (орыс тілінде)
8. Мартьянов В.Л., Колесников В.Ф., Лапаев М.Н. Көлбеу кен орындарын игерудің аралас технологиясы кезіндегі бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлерін зерттеу // *Тау-кен техникасы және технологиясы*. 2022. № 3 (18). Б. 53–78 (орыс тілінде)
9. Интеллектуалды алгоритмдер негізінде ашық Карьерлердегі жарылғыш жұмыстарды болжау және оңтайландыру / Го Дж. [және т. б.] // *Қолданбалы ғылымдар*. 2024. № 14 (13). Б. 5609 (ағылшын тілінде)
10. У С., Чжу Д., Лу Х., Ли Л. (2024 жылғы 10 шілде). Ашық карьердің еңісіндегі жарылыс жұмыстарын рельеф жағдайлары мен еңіс формасын ескере отырып модельдеу. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1417895. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1417895> (ағылшын тілінде)
11. Тивари А., Ядав Р.К., Дас Б. Жарылыс жұмыстарының қоршаған ортаға әсері және оларды ашық тау-кен жұмыстары кезінде бақылау әдістері // *Экология және табиғи ресурстар журналы*. 2022. № 6 (2). Б. 1–4 (ағылшын тілінде)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буровзрывные работы на разрезах Кузбасса. Монография по взрывным работам на разрезах Кузбасса / В.И. Кузнецов [и др.]. М.: Кемеровское книжное издательство. 1989. С. 92–98 (на русском языке)
2. Галимьянов А.А., Соболев А.А. Оценка влияния глубины разработки угольных месторождений на основные показатели буровзрывных работ на предприятии «Ургалуголь» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 12–1. С. 69–75 (на русском языке)
3. Кабиденнова А.С. Совершенствование буровзрывных работ на предельном контуре карьера // Вестник науки. 2021. № 2 (35). С. 83–86 (на русском языке)
4. Оценка взрывоопасности и качества руды по данным мониторинга бурения на открытых карьерах / Наварро Дж. [и др.] // Механика горных пород и горное дело. 2021. Т. 54. С. 3209–3228 (на английском языке)
5. Здечлик Р., Чудзик В. Осушение карьеров на основе рециркуляции воды – пример с численным моделированием // Энергетика. 2021. № 14 (15). С. 4576 (на английском языке)
6. Жариков С.Н., Шеменов В., Кутуев В. Об особенностях производства буровзрывных работ в условиях Севера // Проблемы недропользования. 2017. № 3. С. 1–7 (на русском языке)
7. Оценка современного состояния буровзрывных работ и необходимость осуществления переходных процессов на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири / Реготунов А.С. [и др.] // Проблемы недропользования. 2021. № 2. С. 52–62 (на русском языке)
8. Мартынов В.Л., Колесников В.Ф., Лапаев М.Н. Исследование параметров буровзрывных работ при комбинированной технологии разработки наклонных месторождений // Техника и технология горного дела. 2022. № 3 (18). С. 53–78 (на русском языке)
9. Прогнозирование и оптимизация взрывных работ на открытых карьерах на основе интеллектуальных алгоритмов / Го Дж. [и др.] // Прикладные науки. 2024. № 14 (13). С. 5609 (на английском языке)
10. У С., Чжу Д., Лу Х., Ли Л. (10 июля 2024 г.). Моделирование взрывных работ на откосе открытого карьера с учетом условий рельефа и формы откоса. *Frontiers in Earth Science*. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1417895> (на английском языке)
11. Тивари А., Ядав Р.К., Дас Б. Влияние взрывных работ на окружающую среду и методы их контроля при открытых горных работах. *Журнал экологии и природных ресурсов*. 2022. № 6 (2). С. 1–4 (на английском языке)

## Information about the authors:

**Khussan B.**, senior lecturer of the Department of Working out of mineral deposits, Ph.D, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [husanb@mail.ru](mailto:husanb@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0996-348X>

**Kakim S.T.**, Ph.D student of the Department of Working out of mineral deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [s.kakim@ktu.edu.kz](mailto:s.kakim@ktu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0003-0123-4020>

**Ivadinolina D.T.**, Acting Associate Professor of the Department of Working out of mineral deposits, Ph.D, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [dinulb@mail.ru](mailto:dinulb@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9731-0587>

**Turdaliev A.S.**, Master of Technical Sciences, 2nd year doctoral student of the Mining Department, technological engineer, «Scientific and Production Enterprise «Interrin» LLP (Almaty, Kazakhstan), [altynaiym.turdaliyeva@interrin.kz](mailto:altynaiym.turdaliyeva@interrin.kz); <https://orcid.org/0009-0001-2919-3518>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Хусан Б.**, ПҚКӨ кафедрасының аға оқытушысы, Ph.D, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Кәкім С.Т.**, ПҚКӨ кафедрасының докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Ивадилиннова Д.Т.**, ПҚКӨ кафедрасының доцент м.а., Ph.D, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Турдалиева А.С.**, техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University, «Тау-кен ісі» кафедрасының 2-ші курс докторанты, ЖШС «Ғылыми-өндірістік кәсіпорны «Интеррин» инженер-технологы (Алматы қ., Қазақстан)

## Сведения об авторах:

**Хусан Б.**, ст. преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Ph.D, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

**Кәкім С.Т.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

**Ивадилиннова Д.Т.**, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

**Турдалиева А.С.**, магистр технических наук, докторант 2-го курса кафедры «Горное дело» Satbayev University, инженер-технолог, ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин» (г. Алматы, Казахстан)

Код МРНТИ 36.23.11

Н.Н. Мусахан, \*Ы. Жакыпбек, С.В. Турсбеков, С.Н. Мустапаева  
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## ЖЕРДІҢ ШӨЛЕЙТТЕНУІН СПУТНИКТІК ГЕОДЕЗИЯ НЕГІЗІНДЕ МОНИТОРИНГТЕУ

**Аннотация.** Бұл мақалада Каспий теңізі маңындағы ауыл шаруашылығы жерлері деградациясын талдау барысында Landsat спутниктік суреттері, Google Earth Engine және ArcGIS сияқты қашықтықтан зондтау бағдарламалары қолданылды. Сондай-ақ, Жел эрозиясы, NDVI, LAI, GPP индекстері мен жауын-шашын сияқты климаттық көрсеткіштер зерттелді. Антропогендік әсерді бағалау үшін адам даму индексі (HDI) мен кедейлік көрсеткіштері (GINI) есептелді. Сәйкесінше, зерттеу аумағы бойынша HDI көрсеткіші 0,620 көрсетіп, бұл аймақ үшін индекстің төмен екендігі анықталды. Ал кедейлік индексінің 2017 жылғы көрсеткіші 0,242 болса, 2022 жылғы 0,345-ке дейін өскендігі дәлелденді. Сонымен қатар, бұл көрсеткіштер зерттеу облысына жақын көршілес Каспий теңіз жағалауы аймақтарымен тікелей байланыстылығы зерттеліп дәлелденді.

**Түйінді сөздер:** Каспий маңы, ArcGIS, Google Earth Engine, шөлейттену, спутниктік геодезия, бақылау.

### Monitoring of land desertification based on satellite geodesy

**Abstract.** In this study, Landsat satellite imagery, as well as remote sensing tools such as Google Earth Engine and ArcGIS, were used to analyze the degradation of agricultural lands in the Caspian region. Climate indicators such as wind erosion, NDVI, LAI, GPP, and precipitation were examined. To assess anthropogenic impact, the Human Development Index (HDI) and poverty indicators (GINI) were calculated. Specifically, the HDI value for the West Kazakhstan region was 0.620, indicating a low index level for the area. The poverty index increased from 0.242 in 2017 to 0.345 in 2022. Furthermore, it was demonstrated that these indicators are directly linked to the neighboring coastal regions of the Caspian Sea.

**Key words:** Caspian region, ArcGIS, Google Earth Engine, desertification, satellite geodesy, monitoring.

### Мониторинг опустынивания земель на основе спутниковой геодезии

**Аннотация.** В данной статье для анализа деградации сельскохозяйственных земель в прикаспийском регионе использовались спутниковые снимки Landsat, а также программы дистанционного зондирования, такие как Google Earth Engine и ArcGIS. Были исследованы такие климатические показатели, как ветровая эрозия, NDVI, LAI, GPP и осадки. Для оценки антропогенного воздействия рассчитывались индекс человеческого развития (HDI) и коэффициент бедности (GINI). В частности, для Западно-Казахстанской области значение HDI составило 0,620, что указывает на низкий уровень индекса для данного региона. Показатель бедности составил 0,242 в 2017 году и увеличился до 0,345 в 2022 году. Кроме того, было доказано, что данные показатели напрямую связаны с близлежащими прибрежными районами Каспийского моря.

**Ключевые слова:** Прикаспийский, ArcGIS, Google Earth Engine, опустынивание, спутниковая геодезия, мониторинг.

### Кіріспе

Жердің шөлейттенуі – құрғақ, жартылай құрғақ және құрғақ субгумидті аймақтарда эокожүйелердің деградациясына әкелетін күрделі көпфакторлы процесс. Бұл құбылыс топырақтың биопродуктивтілігінің төмендеуімен, гидрологиялық тепе-теңдіктің бұзылуымен және өсімдік жамылғысының сиреуімен сипатталады. Біріккен Ұлттар Ұйымының Қоршаған орта жөніндегі бағдарламасының (UNEP) мәліметтері бойынша, қазіргі уақытта жер бетінің шамамен 40%-ы шөлейттену процестеріне ұшыраған, соның салдарынан 168 елдің ауыл шаруашылығына, эокожүйелік тұрақтылығына және миллиондаған адамдардың өмір сүру сапасына тікелей қауіп төндіріп отыр [1, 2].

Қазіргі заманда халықаралық деңгейде жердің тозуын зерттеу және мониторинг жүргізу әртүрлі қашықтықтан зондтау әдістерін, кеңістіктік талдау құралдарын, тозу индикаторларын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Осындай әдістердің бірі – Medalus (Mediterranean Desertification and Land Use), ол Еуропа, Солтүстік Африка және Орталық Азия елдерінде қолданылады. Бұл әдіс климаттық жағдайлар, топырақ сипаттамалары, жерді пайдалану және антропогендік жүктеме сияқты индикаторларға негізделіп отырып, аумақтардың тозуға бейімділігін бағалау кезінде қолданылады.

Google Earth Engine және ArcGIS платформалары арқылы эрозия картасы, жел эрозиясы, NDVI, LAI, GPP индекстері, сондай-ақ жауын-шашын сияқты климаттық факторларды соңғы 20 жылда алынған қашықтықтан зондтау деректерін пайдалану топырақтың тозу процестерін кешенді зерттеуге мүмкіндік берді [3–7].

### Әдістері мен материалдары

Каспий маңы ойпаты – Еуразия құрлығының оңтүстік-батыс бөлігінде орналасқан кең алқапты табиғи-географиялық аймақ. Каспий теңізінің теңіз деңгейінің ауытқуы, ылғал айналымы мен жел режиміне әсер етуі тек тікелей жағалаудағы аумақтармен шектелмей, сондай-ақ ішкі құрлыққа қарай жатқан көршілес аймақтарға да таралады. Сондай ақ, Батыс Қазақстан облысы, оның ішінде Бөкейорда ауданы, Каспий маңы ойпатының құрамына кіреді және Каспий теңізінен қашық орналасқанына қарамастан, теңіздің жанама әсерін сезінеді. Сонымен қатар, теңіз маңындағы экологиялық тепе-теңдіктің бұзылуы – теңіз деңгейінің төмендеуі, жағалаудағы батпақты және сулы-батпақты аумақтардың кебуі – жанама түрде Батыс Қазақстанның табиғи жүйелеріне, оның ішінде жайылымдық жерлер мен топырақ ресурстарына да кері әсерін тигізуі мүмкін<sup>1</sup>.

Көптеген шөлейттену бойынша зерттеулер әлеуметтік көрсеткіштерге (адам дамуының индексі – HDI, кедейлік индексі – GINI, білім беру, тұрғын үй), экономикалық көрсеткіштерге (жан басына шаққандағы табыс, жан басына шаққандағы жалпы ішкі өнім – GDP, кедейлік) және экологиялық жағдайларға (жауын-шашын мөлшері, құрғақшылық индексі, нормаланған өсімдік индекстері – NDVI) негізделген<sup>2</sup>. Бұл көрсеткіштер ауыл шаруашылығы жерлерінің деградациясы сияқты таза физикалық құбылысты сипаттау үшін қолданылады, бұл көрсеткіштерді зерттеуге қосу топырақтың биофизикалық-химиялық деградациясын жақсырақ сипаттауға мүмкіндік береді.

GINI индексі (GINI коэффициенті) – табыстың немесе ресурстардың теңсіздігін өлшейтін негізгі экономикалық

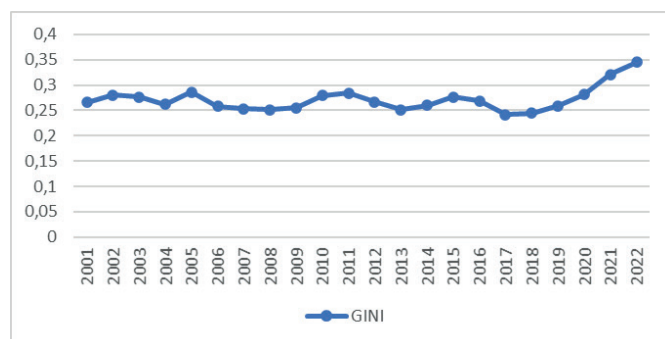
<sup>1</sup>Қазақстан Республикасында шөлейттенуге қарсы күрес бағдарламасы (2005–2015 жж.). ҚР Үкіметінің 2005 жылғы 24 қаңтардағы № 49 қаулысымен бекітілген. [Электрондық ресурс]. URL: <http://www.eco.gov.kz/strategiya/pustytuu.php> (қаралған күні: 13.03.2025). Қолжетімділік режимі: ашық.

<sup>2</sup>ШОЛУ: Шөлейттену мәселесі галамдық және өңірлік деңгейлерде. 2017. URL: <https://carececo.org/main/news/obzor-problema-opustynivaniya-na-globalnom-i-regionalnom-urovnyakh/> (қаралған күні: 13.03.2025). Қолжетімділік режимі: ашық.

көрсеткіштердің бірі. Ол 0 мен 1 аралығында өзгереді, мұнда 0 толық теңдікке, ал 1 абсолютті теңсіздікке сәйкес келеді. GINI индексі көбінесе әлеуметтік-экономикалық зерттеулерде қолданылғанымен, оның жер және табиғи ресурстарға әсері маңызды талдау объектісі болып табылады. Жер ресурстарының бөлінісі GINI индексінің мәнімен тікелей байланысты. Жоғары GINI индексі ауыл шаруашылық жерлерінің, орман ресурстарының және су қорларының аз ғана топтың қолында шоғырланғанын көрсетеді.

### Нәтижелер және талқылау

GINI индексі тек экономикалық көрсеткіш ғана емес, сонымен қатар жер ресурстарының дұрыс бөлінуінің маңызды индикаторы болып табылады. GINI индексінің өсуі табиғи ресурстардың ұтымды бөлінуіне және жердің ұзақ мерзімді тұрақтылығына кері әсерін тигізеді. 1-суретте көрсетілген зерттеулер негізінде кедейлік индексінің соңғы жылдары жоғарылағаны байқалды. 2001 жылы көрсеткіш 0,266 болса, 2022 жылы 0,345-ке дейін өсті.



Сурет 1. GINI индексінің 2001–2022 жылдардағы көрсеткіші.

Figure 1. GINI index indicator for 2001–2022.

Рис. 1. Показатель индекса Джини за 2001–2022 годы.

Адам дамуының индексі (HDI) – бұл Біріккен Ұлттар Ұйымының Даму Бағдарламасы (UNDP) ұсынған көрсеткіш, ол денсаулық, білім және экономикалық жағдай сияқты үш негізгі факторға негізделеді.

HDI үш көрсеткіштің орташа арифметикалық мәні ретінде есептеледі [8]:

$$HDI = \frac{(I_{ден.} + I_{білім} + I_{таб.})}{3}, \quad (1)$$

мұнда:

$I_{ден.}$  – өмір сүру ұзақтығының индексі;

$I_{білім}$  – білім беру индексі;

$I_{таб.}$  – жан басына шаққандағы жалпы ұлттық табыс (ЖҰТ) индексі.

Өмір сүру ұзақтығының индексі

$$I_{ден.} = \frac{LE - 20}{85 - 20} = \frac{74,44 - 20}{85 - 20} \approx 0,836, \quad (2)$$

мұнда:

$LE$  (Life Expectancy at Birth) – орташа өмір сүру ұзақтығы (жыл);

$20$  жыл – ең төменгі мән;

$85$  жыл – ең жоғарғы мән.

Білім индексі

$$I_{білім} = \frac{MYS}{15} + \frac{EYS}{18} = \frac{4}{15} + \frac{11}{18} = 0,439, \quad (3)$$

мұнда:

$MYS$  (Mean Years of Schooling) – 25 жастан асқан ересектердің орташа білім алу

ұзақтығы (ең көбі 15 жыл);

$EYS$  (Expected Years of Schooling) – қазіргі балалар үшін күтілетін оқу ұзақтығы

(ең көбі 18 жыл).

Табыс индексі

$$I_{таб.} = \frac{\log(GNI) - \log(100)}{\log(75000) - \log(100)} \approx 0,585, \quad (4)$$

мұнда:

$GNI$  (Gross National Income per Capita) – жан басына шаққандағы жалпы ұлттық

табыс (ЖҰТ) (АҚШ долларымен, СКТ бойынша есептелген);

$100$  – ең төменгі мән;

$75000$  – ең жоғарғы мән.

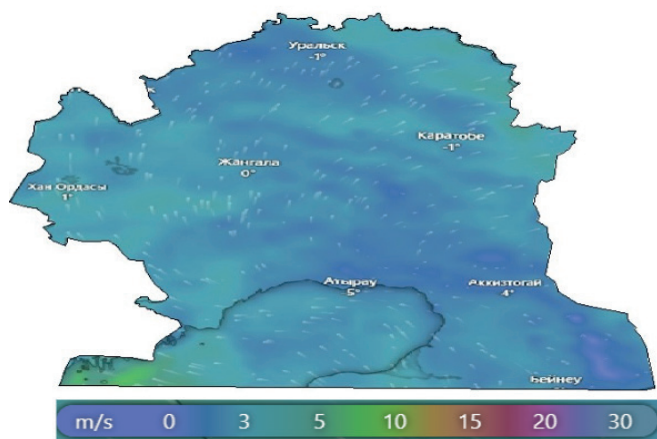
Жалпы HDI мәнін есептеу

$$HDI = \frac{(0,836 + 0,439 + 0,585)}{3} = 0,620.$$

Нәтижесінде Батыс Қазақстан облысы бойынша HDI көрсеткіші 0,620 болды. Ал Қазақстанның орташа көрсеткіші 0,811 құрайды. Бұл өңірдегі индекс деңгейі республикалық деңгейден едәуір төмендігін көрсетеді. Сондықтан HDI индексінің төмендігін аймақтағы шөлейттенудің қарқын алуының себептерінің бірі ретінде қарастыра аламыз.

Сондай-ақ жер ресурстарының деградациясына аймақтың жел және су эрозиясына ұшырауы айтарлықтай әсер етеді. Зерттеу аймағының Каспий теңізіне жақын орналасуы және жер бедерінің жазықтығы жел эрозиясына әкеліп соғады. Жел эрозиясы теңізге жақын аймақтарда жиі кездеседі, себебі ашық кеңістіктерде күшті желдер құм мен ұсақ топырақ бөлшектерін тасымалдайды. Гидрологиялық өзгерістер, оның ішінде теңіз деңгейінің көтерілуі мен төмендеуі, жағалаудағы топырақтың шайылуына және тұздануына әкеледі.

Каспий маңы ойпатының құрғақ климаты мен теңіз әсерінен болған топырақтың құрылымдық өзгерістері аймақтың шөлейттенуін тездетуде. Каспий теңізі маңындағы жерлерде жел, су эрозиясы және тұздану процестері қатар жүреді, бұл ауыл шаруашылығы мен экожүйелерге зиянын тигізеді. Каспий теңізі жағалауындағы ғана емес, көршілес аймақтарға да әсер етуде. 2-суретте көрсетілгендей Бөкейорда ауданына соғатын жел Каспий теңізі аумағынан бастау алады. Бұл аудан топырағының құрамындағы тұз көрсеткішінің көбею себептерінің бірі болып табылады және деградацияға алып келеді.



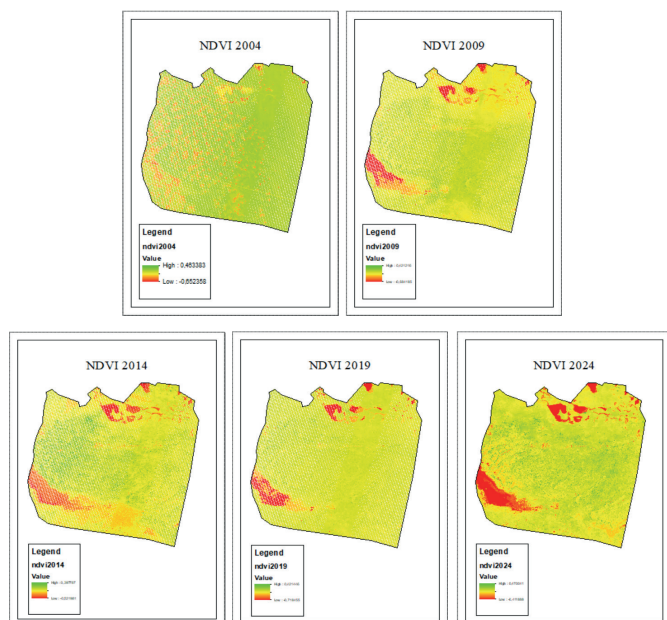
Сурет 2. Каспиймаңы және көршілес аймақтардағы жел бағыты.

Figure 2. Wind direction in the Caspian region and neighboring areas.

Рис. 2. Направление ветра в Прикаспийском и соседних регионах.

Шөлейттену процестері көбінесе өсімдіктер жамылғысының азаюымен, топырақтың деградациясымен және климаттық өзгерістермен байланысты болғандықтан, NDVI жердің тозуын бақылау мен болжауда кеңінен қолданылады. 3-суретке сәйкес Бөкейорда ауданындағы NDVI индексінің соңғы 20 жылдағы өзгерісін бақылау жұмыстары жүргізілді.

Индекс нәтижесінде өсімдік жамылғысы 2004 жылмен салыстырғанда 2024 жылы едәуір азайғаны байқалды. Оны өсімдіктердің фотосинтез процесі арқылы органикалық заттарды өндіру қабілетінің төмендеуімен түсіндіруге болады.

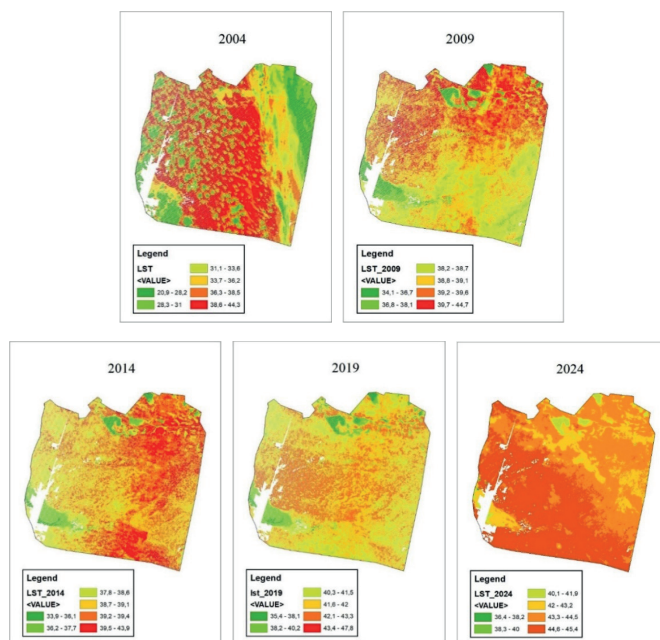


Сурет 3. 2004–2024 жылдар арасындағы NDVI индексі.

Figure 3. NDVI index for 2004–2024.

Рис. 3. Индекс NDVI за 2004–2024 годы.

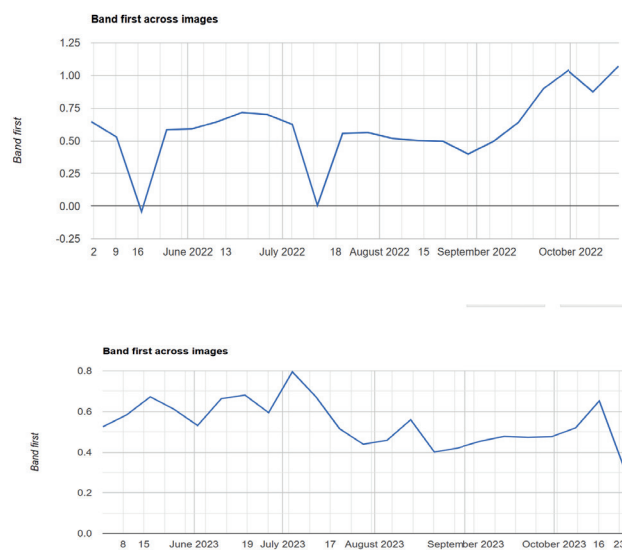
LST (Land Surface Temperature) индексі топырақтың және өсімдік жамылғысының жылу балансы туралы ақпарат беріп, құрғақшылық, топырақтың ылғалдылығы және шөлейттену үрдістерін бағалауға мүмкіндік береді. 4-суретте көрсетілгендей жер температурасы 2004 жылы 20,9 °C – 44,3 °C арасында болса, 2024 жылы 36,4 °C – 45,4 °C-қа дейін жоғарылағаны байқалды.



Сурет 4. 2004–2024 жылдар арасындағы LST индексі.

Figure 4. LST index for 2004–2024.

Рис. 4. Индекс LST за 2004–2024 годы.



Сурет 5. LAI индексінің 2022, 2023 жылғы көрсеткіштері.

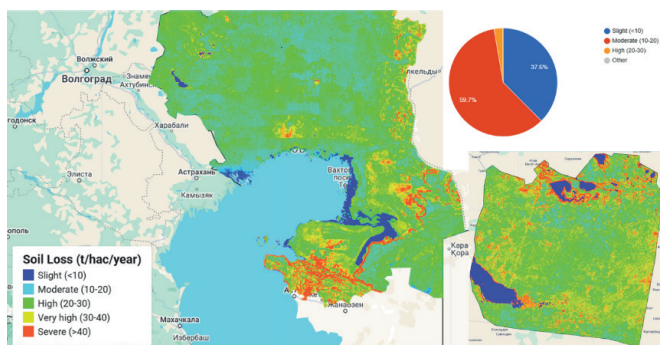
Figure 5. LAI index indicators for 2022 and 2023.

Рис. 5. Показатели индекса LAI за 2022 и 2023 годы.

LAI индексі шөлейттенудің, құрғақшылықтың, топырақ эрозиясының және климаттық өзгерістердің әсерін баға-

лауға мүмкіндік береді. Бөкейорда ауданының 2022, 2023 жылдарға LAI көрсеткіші төмен екені байқалды (5-сурет). 2022 жылы көрсеткіш максималды мәні 1,0-ге жетсе, 2023 жылы 0,8 ғана болған.

Жұмыс барысында алынған индекстер мен зерттелген деректер негізінде жер эрозия картасы жасалды (6-сурет). Каспий теңізінің жер эрозиясына әсері аймақ алыстаған сайын азайып отыр. Диаграммаға сәйкес картаның 59,7%-ы сәл эрозияға ұшыраса, 37,6%-ы орташа эрозия деңгейін қамтыды. Жоғары эрозия деңгейі тек 3,7%-ды алады, ал басқа жер эрозиясы деңгейлері қалған бөлікті құрады. Картада Каспий теңізінің маңындағы және басқа да аймақтарда топырақ эрозиясы айтарлықтай байқалады, әсіресе оңтүстік және оңтүстік-шығыс аймақтарда жоғары және өте жоғары эрозия деңгейлері байқалды.



**Сурет 6. Каспиймаңы және Бөкейорда ауданының жер эрозиясы картасы.**

**Figure 6. Soil erosion map of the Caspian region and Bokeiorda district.**

**Рис. 6. Карта почвенной эрозии Прикаспийского региона и Бөкейординского района.**

Осылайша, Каспий теңізінің әсері тек жағалау аймақтарымен шектелмей, ішкі шөлейтті аумақтарға да таралады. Бұл ерекшелікті ескере отырып, аймақтық жер ресурстарын басқару мен шөлейттену үдерісін болжау барысында Каспий маңы факторларын да назарда ұстау маңызды.

**Қорытынды**

Зерттеу нәтижесінде шөлейттенген жерлерді бақылауға арналған 3 индекс алынды. Жауын-шашын динамикасын талдау құрғақшылықтың әсерін, топырақтың тұздануын және шөлейттену қарқынын бағалауға мүмкіндік береді. Аймақта жауын-шашынның бірқалыпты болмауы топыраққа қосымша стресс тудырып, деградацияға әсер етеді. NDVI, LAI, LST индекстері біріктіріліп, өсімдіктер жамылғысының өзгерісін, топырақ эрозиясын және шөлейттенудің ұзақ мерзімді трендтерін анықтауға көмектеседі. Бұл процестердің барысын нақты бағалау үшін қолданылған NDVI талдауы нәтижесінде Бөкейорда ауданында өсімдік жамылғысының айтарлықтай азайғаны анықталды. Атап айтқанда, 2004 жылы NDVI мәні орта есеппен 0,42 болса, 2024 жылы бұл көрсеткіш 0,29-ға дейін төмендеді. Сонымен қатар, LST индексінің деректері 2004 жылы жер бетінің температурасы 20,9 °C – 44,3 °C аралығында болса, 2024 жылы бұл мән 36,4 °C – 45,4 °C-қа дейін жетті. Температураның мұндай өсуі топырақ ылғалдылығының азаюына, булану көлемінің артуына және өсімдіктердің тіршілік ету мүмкіндігінің төмендеуіне алып келеді. Бөкейорда ауданында 2022 жылы LAI максималды мәні 1,0 болған болса, 2023 жылы ол 0,8-ге дейін төмендеген. Бұл өсімдіктердің жалпы жапырақ массасының азайғанын, ал бұл өз кезегінде фотосинтез процесінің әлсіреуін білдіреді. Осылайша Бөкейорда ауданы мен Каспий маңы ойпаты осал аймақтар қатарына жатады, мұнда құмды және сортаң топырақтардың басым болуы, топырақтың ылғал тапшылығы және антропогендік факторлар шөлейттенуді жыл сайын артқандығы дәлелденуде.

**АЛҒЫС**

*Бұл мақала BR24993218 «Каспий маңы өңірінің аумақтарында қолайсыз экологиялық жағдайларда топырақтың шөлейттенуі мен тозуы проблемаларын шешудің ұтымды және тиімді инновациялық әдістерін әзірлеу» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы бойынша орындалды.*

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Скоринцева И.Б., Басова Т.А., Тулетаев А. Қазақстандағы шөлейттену: жағдайы, мәселелері және шешу жолдары // *Ландшафттану*. 2021. № 3. Б. 18–26 (орыс тілінде)
2. Кобегенова Х.Н., Шакенова Т.К. Қазақстан аумағында табиғи және антропогендік факторлардың әсерінен топырақ қасиеттерінің деградациясы // *Шолом-Алейхем атындағы Амур мемлекеттік университетінің хабаршысы*. 2017. № 3 (28). Б. 32–38 (орыс тілінде)
3. Қазақстан Республикасы жерінің жай-күйі мен пайдаланылуы туралы жиынтық талдамалық есеп. 2016 жыл. ҚР АШМ Жер ресурстарын басқару комитеті, Астана, 2017, 180 б. (орыс тілінде)
4. Өңірлік шөлейттенуді модельдеуге арналған кеңістіктік жүйелік-динамикалық модель Қытайдың Ордос аймағының мысалында / Xu D. [және т. б.] // *Қытайдағы ғылым. D Сериясы: Жер Туралы Ғылымдар*. 2009. № 39. Б. 516–528 (ағылшын тілінде)
5. Цинхай-Тибет үстіртііндегі шөлейттену процестерінде климаттың өзгеруі мен адам қызметінің салыстырмалы рөлдерін бастапқы таза өнімділік негізінде сандық бағалау / Li Q. [және т. б.] // *Катена*. 2016. № 147. Б. 789–796 (ағылшын тілінде)
6. Қашықтан зондау арқылы бағаланған альбедо жаһандық құрғақ аймақтардағы экожүйенің көпфункционалдылығымен өзара байланысты / Zhao Y. [және т. б.] // *Құрғақ Орта журналы*. 2018. № 157 (9). Б. 116–123 (ағылшын тілінде)

7. Бекенов М., Аубакирова Г., Жұмабекова А. Қазақстандағы топырақтың табиғи-климаттық және антропогендік факторлардың әсерінен деградациялануын бағалау // ҚР ҰҒА Хабаршысы. Ауыл шаруашылығы ғылымдары сериясы. 2020. № 2 (50). Б. 45–52 (орыс тілінде)
8. Barbier E.B., Hochard J.P. Жер деградациясы дамушы елдерде кедейлікті арттырады ма? // World Development. 2018. Т. 104. Б. 139–152 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Skorintseva I.B., Basova T.A., Tuletaev A. Opustynivanie v Kazakhstane: sostoyanie, problemy i puti ikh resheniya [Desertification in Kazakhstan: State, Problems, and Solutions], Landshaftovedenie [Landscape science]. 2021. No. 3. 18–26 pp. (in Russian)
2. Kobegenova H.N., Shakenova T.K. Degradatsiya svoistyv pochvy v rezul'tate vozdeistviya prirodnykh i antropogennykh faktorov na territorii Respubliki Kazakhstan [Soil Properties Degradation Due to Natural and Anthropogenic Factors in the Territory of the Republic of Kazakhstan], Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleikhema [Bulletin of the Amur State University named after Sholom Aleichem]. 2017. No. 3 (28). 32–38 pp. (in Russian)
3. Svodnyi analiticheskii otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazakhstan. 2016 god. Komitet MSKh RK po upravleniyu zemel'nymi resursami [Consolidated Analytical Report on the State and Use of Lands of the Republic of Kazakhstan. 2016. Committee for Land Resources Management of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan]. Astana, 2017, 180 p. (in Russian)
4. Assessing the relative role of climate change and human activities in sandy desertification of Ordos region China / Xu D. [et al.] // Sci. China Ser. D Earth Sci. 2009. No. 39. 516–528 pp. (in English)
5. Quantitative Assessment of the Relative Roles of Climate Change and Human Activities in Desertification Processes on the Qinghai-Tibet Plateau Based on Net Primary Productivity / Li Q. [et al.] // Catena. 2016. No. 147. 789–796 pp. (in English)
6. Albedo Estimated from Remote Sensing Correlates with Ecosystem Multifunctionality in Global Drylands / Zhao Y. [et al.] // Journal of Arid Environ. 2018. No. 157 (9). 116–123 pp. (in English)
7. Bekenov M., Aubakirova G., Zhumabekova A. Otsenka degradatsii pochv v Kazakhstane pod vozdeistviem prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [Assessment of Soil Degradation in Kazakhstan under the Influence of Natural-Climate and Anthropogenic Factors], Izvestiya NAN RK. Seriya sel'skokhozyaistvennykh nauk [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agricultural Sciences]. 2020. No. 2 (50). 45–52 pp. (in Russian)
8. Barbier E.B., Hochard J.P. Does land degradation increase poverty in developing countries? // World Development. 2018. V. 104. 139–152 pp. (in English)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скоринцева И.Б., Басова Т.А., Тулетаев А. Опустынивание в Казахстане: состояние, проблемы и пути их решения // Ландшафтоведение. 2021. № 3. С. 18–26 (на русском языке)
2. Кобегенова Х.Н., Шакенова Т.К. Деградация свойств почвы в результате воздействия природных и антропогенных факторов на территории Республики Казахстан // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2017. № 3 (28). С. 32–38 (на русском языке)
3. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан. 2016 год. Комитет МСХ РК по управлению земельными ресурсами, Астана, 2017, 180 с. (на русском языке)
4. Пространственная системно-динамическая модель для моделирования регионального опустынивания на примере региона Ордос, Китай / Xu D. [и др.] // Наука в Китае. Серия D: Науки о Земле. 2009. № 39. С. 516–528 (на английском языке)
5. Количественная оценка сравнительных ролей изменения климата и антропогенной деятельности в процессах опустынивания на Цинхай-Тибетском плато на основе чистой первичной продукции / Li Q. [и др.] // Катена. 2016. № 147. С. 789–796 (на английском языке)
6. Альbedo, рассчитанное по данным дистанционного зондирования, коррелирует с мультифункциональностью экосистем в глобальных засушливых регионах / Zhao Y. [и др.] // Журнал по засушливой окружающей среде. 2018. № 157 (9). С. 116–123 (на английском языке)
7. Бекенов М., Аубакирова Г., Жумабекова А. Оценка деградации почв в Казахстане под воздействием природно-климатических и антропогенных факторов // Известия НАН РК. Серия сельскохозяйственных наук. 2020. № 2 (50). С. 45–52 (на русском языке)
8. Barbier E.B., Hochard J.P. Увеличивает ли деградация земель бедность в развивающихся странах? // World Development. 2018. Т. 104. С. 139–152 (на английском языке)

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Мусахан Н.Н.**, магистрант, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), [musanaznur@gmail.com](mailto:musanaznur@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0009-5610-2712>

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

**Турсбеков С.В.**, т.ғ.к., доцент, қауымдастырылған профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), [s.tursbekov@satbayev.university](mailto:s.tursbekov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-7320-5689>

**Мустапаева С.Н.**, Ph.D докторы, Satbayev University қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), [mustapayevasezim@gmail.com](mailto:mustapayevasezim@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1211-0605>

## Information about the authors:

**Mussakhan N.N.**, master's degree student, Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

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

**Tursbekov S.**, candidate of technical sciences, assistant professor, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Mustapayeva S.**, Doctor Ph.D, Associate Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

## Сведения об авторах:

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

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

**Турсбеков С.В.**, к. т. н., доцент, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Мустапаева С.Н.**, доктор Ph.D, доцент Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)



## 26-я Китайская международная выставка нефтегазового и нефтехимического оборудования и технологий

26-28 марта, 2026

Китайский Международный Выставочный Центр (Зал Шуньи), Пекин

81

Стран и регионов

180,000+

Профессиональных посетителей

2,000+

Экспонентов

52

из Fortune Global 500

18

Международных павильонов

120,000m<sup>2</sup>

Выставочной площади

## Среди участников выставки



Zhenwei International Exhibition Group, Beijing Zhenwei Exhibition Co., Ltd.

Адрес: Zhenwei Exhibition Building, Building III13, International Enterprise Avenue,

Yard 1, Jinghai 5th Road, Tongzhou District, Beijing

Тел: +86 10 5617 6968/6962

Факс: +86 10 5617 6998

Почта: [cippe@zhenweexpo.com](mailto:cippe@zhenweexpo.com)



Регистрация посетителей



WhatsApp

[f](#) cippezw

[x](#) cippe\_zw

[in](#) cippe China

Код МРНТИ 36.23.31

\*М.Б. Игемберлина<sup>1</sup>, Г.Е. Жунусова<sup>1</sup>, Ә.С. Тұяқбай<sup>2</sup>, С.Б. Асланова<sup>1</sup><sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті  
(Қарағанды қ., Қазақстан),<sup>2</sup>Қ. Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті (Астана қ., Қазақстан)

## ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ӨНЕРКӘСІПТІК АЛАНДА ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕ ЖОБАСЫН ӘЗІРЛЕУ

**Аннотация.** Мақалада цифрлық технологияларды қолдана отырып, геологиялық қазбалардың орналасуын ескере отырып, өнеркәсіптік аялда геодезиялық негіздеме жасау әдістемесі келтірілген. Заманауи технологиялар, заманауи геодезиялық жабдықтар, геодезиялық түсірілім деректерін өңдеу және жер бетінің жоғары дәлдіктегі цифрлық модельдерін құру қарастырылған. Trimble Business Center және Agisoft Metashape бағдарламалық өнімдерінің көмегімен далалық жұмыстарды өндіру және түсіру нәтижелерін камералық өңдеу кезеңдері сипатталған. Салынған цифрлық модель негізінде рельефте ең үлкен айырмашылықтары бар аймақтар бөлінді, құрылыс процесінде мүмкін болатын деформациялардың бағыттары анықталды, сондай-ақ өндірістік аялдағы жер жұмыстарының көлемі есептелді.

**Түйінді сөздер:** өнеркәсіптік аяла, геодезиялық негіздеме, биіктік белгі, ұшқышсыз ұшу аппараттары, статикалық режим, репер, мәліметтерді өңдеу, жердің цифрлық моделі.

### Development of a geodetic survey project at an industrial site using digital technologies

**Abstract.** The article presents a methodology for compiling a geodetic basis at an industrial site, taking into account the location of geological excavations using digital technologies. It discusses modern technologies, modern geodetic equipment, data processing for geodetic surveys, and the construction of high-precision digital models of the Earth's surface. The article describes the stages of field work and the processing of survey results using Trimble Business Center and Agisoft Metashape software products. Based on the constructed digital model, the areas with the greatest differences in terrain were identified, the directions of possible deformations during construction were determined, and the volumes of earthworks at the industrial site were calculated.

**Key words:** industrial site, geodetic survey, altitude mark, unmanned aerial vehicles, statistical mode, reference, data processing, digital terrain model.

### Разработка проекта геодезического обоснования на промышленной площадке с применением цифровых технологий

**Аннотация.** В статье приведены методика составления геодезического обоснования на промышленной площадке с учетом расположения геологических выработок с применением цифровых технологий. Рассмотрены современные технологии, современное геодезическое оборудование, обработка данных геодезических съемок и построение высокоточных цифровых моделей земной поверхности. Описаны этапы производства полевых работ и камеральной обработки результатов съемки с помощью программных продуктов Trimble Business Center и Agisoft Metashape. На основе построенной цифровой модели были выделены зоны с наибольшими различиями в рельефе, определены направления возможных деформаций в процессе строительства, а также рассчитаны объемы земляных работ на промплощадке.

**Ключевые слова:** промплощадка, геодезическое обоснование, высотная отметка, беспилотные летательные аппараты, статистический режим, репер, обработка данных, цифровая модель местности.

### Кіріспе

Өнеркәсіп және құрылыс салаларының белсенді дамуы жағдайында геодезиялық жұмыстардың жоғары дәлдігі мен жеделдігін қамтамасыз ету міндеті барған сайын өткір тұр. Сенімді геодезиялық негіздеме жасау кез-келген құрылыс жобасының ажырамас бөлігі болып табылады, әсіресе ірі өндірістік нысандарда. GNSS навигациясы, лазерлік сканерлеу, ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) және арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету сияқты заманауи цифрлық технологиялар геодезиялық тапсырмалардың тиімділігі мен сапасын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Тақырыптың өзектілігі осы технологияларды инженерлік-геодезиялық қамтамасыз етудің стандартты процестеріне біріктіру қажеттілігіне байланысты.

Заманауи геодезиялық аспаптар мен технологиялар жер бетінің жай-күйін бақылау, инженерлік коммуникациялардың сақталуы және техногендік жағдайларды уақтылы болжау үшін пайдалы қазбалар кен орындарын игеруде кеңінен қолданылды. «Геобизнес» ЖШС жүргізген түсірілім деректері бойынша тау-кен жұмыстарын жоспарлау мен қауіпсіз жүргізуді қамтамасыз ететін «Көктасжал», «Кузнецкий разрез» ашық кеніштерінің цифрлық модельдері әзірледі және оларды тау-кен өндірісін енгізді.

Осы зерттеудің мақсаты заманауи цифрлық технологияларды қолдана отырып, өнеркәсіптік аялда геодезиялық

негіздеме жасаудың тиімді әдістемесін әзірлеу және негіздеу болып табылады. Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін жұмыс шеңберінде мынадай міндеттер шешіледі:

- геодезиялық құрылыстардың заманауи әдістеріне шолу жасау;
- сандық технологиялардың мүмкіндіктерін талдау (GNSS);
- геодезиялық негіздемені құрудың технологиялық схемасын әзірлеу және іске асыру;
- цифрлық аспаптарды пайдалана отырып, далалық және камералық жұмыстарды жүргізу;
- құрылған тірек желісінің дәлдігі мен тұрақтылығын бағалау;
- ұсынылған әдістеменің экономикалық тиімділігіне талдау жүргізу.

Зерттеу нысаны шағын өнеркәсіптік аймақтарда электр компоненттерін өндіруге арналған локализациялық орталықтың өндірістік аяны болып табылады және шамамен 30 000 м<sup>2</sup> ашық аумақ болып табылады, онда әртүрлі мақсаттағы ғимараттар мен құрылыстар жобаланған: өндірістік корпусстар, пайдалы қазбалардың қоймалары, автожолдар, инженерлік желілер және басқа да күрделі құрылыс объектілері. Жер бедері сәл толқынды, биіктігі 5 м-ге дейін төмендейді, бұл жоспарлау кезінде дәл геодезиялық қамтамасыз етуді қажет етеді.

## Геодезиялық негіздеме жасау әдістемесі

Өнеркәсіптік алаңда геодезиялық негіздеме жасау жоғары дәлдік пен тиімділікті қамтамасыз етуге бағытталған кезең-кезеңмен технологиялық схема бойынша жүзеге асырылды. Бірінші кезекте бастапқы деректерді жинау және талдау жүргізілді: жобалық құжаттама, инженерлік-геологиялық іздестіру материалдары, спутниктік суреттер, сондай-ақ мемлекеттік геодезиялық желінің жақын пункттерінің координаттары зерттелді. Бұл жер бедерінің ерекшеліктерін, құрылыстың сипатын және берілген дәлдік талаптарын ескере отырып, болашақ тірек желісінің оңтайлы конфигурациясын анықтауға мүмкіндік береді.

Сапаны бақылау координаттардың дәлдігін талдау кезеңінде жүзеге асырылды: орташа квадраттық ауытқулар есептелді, полигонометриялық соққылардың жабылуы тексерілді және әртүрлі өлшеу әдістерімен алынған нәтижелер салыстырылды. Тірек желісінің дәлдігі мен тұрақтылығын растағаннан кейін барлық нәтижелер цифрлық карталар, координаттар кестелері, атқарушы схемалар түрінде ресімделді және тапсырыс берушіге жобалық жүйелермен үйлесімді форматта берілді. Зерттеу жұмысы аясында Саран қаласының шағын өнеркәсіптік аймақтарында электр компоненттерін өндіруге арналған нысан болды, онда инженерлік құрылыстарды кейіннен салу және орналастыру жоспарлануда. Сайт қолжетімділіктің ыңғайлылығын, геодезиялық іздестірулерді жүргізудің өзектілігін, сондай-ақ дәл спутниктік және тахеометриялық бақылаулар үшін жағдайлардың болуын ескере отырып таңдалды [1].

Келесі кезең геодезиялық пункттерді бекіту болды. Пункттерді орнату орындары анықталғаннан кейін бұрыштама қою бағыттарын, есептік координаттар мен биіктік белгілерін көрсете отырып, орналастырудың алдын ала схемасы жасалды (1-сурет).



**Сурет 1. Қоршауы бар бетондалған қатты репер.**

**Figure 1. Concrete solid anchor with fence.**

**Рис. 1. Забетонированный твердый репер с ограждением.**

Қоршауы бар бетондалған қатты реперлер бойынша өнеркәсіп алаңында планды-биіктік геодезиялық негіз ретінде қызмет етеді.

Келесі кезеңде тірек нүктелерін орналастыру және бекіту жүзеге асырылды, олар болашақта өлшеулер жүргізуге негіз болды. Далалық жұмыстарға GNSS қабылдағыштарын статикалық және RTK режимдерінде пайдалану және тахеометриялық түсірілім жүргізу кірді. Координаттарды нақтылау үшін электронды тахеометрлер қолданылатын спутниктердің көру қабілеті шектеулі учаскелерге ерекше назар аударылды. Далалық кезең аяқталғаннан кейін деректер камералық өңдеуге жіберілді, онда желіні теңестіру, қателерді анықтау және жою, сондай-ақ жердің цифрлық моделін құру жүргізілді [2].

Сонымен қатар, аумақты визуалды зерттеу және геодезиялық белгілерді орнатудың оңтайлы нүктелерін таңдау үшін жерге бару жүзеге асырылды. Пункттерді таңдау кезінде мынадай талаптар ескерілді: спутниктік сигналдарды сенімді қабылдау үшін көкжиектің ашықтығы, тахеометриялық өлшеулер жүргізу үшін көрші пункттер арасында тікелей көрінудің болуы, сондай-ақ қозғалыстарды немесе деформацияларды болдырмау үшін негіздеменің тұрақтылығы. Сонымен қатар, ықтимал зақымдануды немесе бөлшектеуді болдырмау үшін нүктелердің орналасу қауіпсіздігі ескерілді.

Далалық жұмыстар өлшеудің жоғары дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін заманауи цифрлық геодезиялық аспаптарды пайдалана отырып, екі кезеңде жүргізілді. Негізгі құралдар Trimble R10 GNSS қабылдағышы және Leica TS09 тахеометрі болды, бұл барлық дәлдік талаптарын сақтай отырып, спутниктік және жердегі түсірілімдерді орындауға мүмкіндік берді. Trimble R10 GNSS қабылдағышы-нақты уақыт режимінде және статикада спутниктік өлшеулер жүргізуге арналған заманауи жоғары дәлдіктегі геодезиялық жабдық. Ол инженерлік-геодезиялық зерттеулерде, тірек желілерін құруда, кадастрлық және құрылыс жұмыстарында кеңінен қолданылады. Жоғары дәлдігі және өнімділігінің арқасында Trimble R10 заманауи геодезияда таптырмас құралға айналды [3].

Trimble R10-дің басты ерекшеліктерінің бірі – оның барлық жаһандық навигациялық спутниктік жүйелерден GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou және басқалардан сигналдарды қабылдау мүмкіндігі. Бұл қиын жағдайларда да сигналдың тұрақты қабылдануын қамтамасыз етеді: құрылыс кезінде, орманды жерлерде, биік құрылымдардың жанында. Trimble R10 көп жиілікті өңдеуді қолдайды, бұл координаттардың дәлдігі мен сенімділігін арттырады (2-сурет).

GNSS қабылдағыштары қолдану геодезиялық бақылауды атқару барысында бастапқы тірек пункттердің координаттарын жоғары дәлдікпен қайта анықтауды қамтамасыз етеді.

Статикалық режимде дәлдік миллиметрлік мәндерге дейін артады, бұл оны биіктік негіздемесін құруда әсіресе тиімді етеді және заманауи технологияның арқасында координаттарды есептеу жылдамырақ және сыртқы кедергілерге сезімталдығы төмен. Осылайша, заманауи жабдықтар мен бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдана отырып, барлық кезеңдерді дәйекті іске асыру нормативтік құжаттардың да, жобалық ортаның да талаптарына жауап беретін сенімді, дәл және цифрлық бағдарланған геодезиялық негіздеме құруды қамтамасыз етті [4].



**Сурет 2. Trimble R10 GNSS қабылдағышы.**  
**Figure 2. Trimble R10 GNSS receiver.**  
**Рис. 2. GNSS-приемник Trimble R10.**

Бірінші кезеңде GNSS өлшемдері статикалық және RTK режимдерінде Trimble R10 қабылдағышын қолдану арқылы орындалды. Статикалық режимде геодезиялық негіздеме құруға және координаттарды кейіннен теңестіруге арналған нүктелерді ұзақ мерзімді түсіру жүргізілді. Әр нүкте шарттарға байланысты 30–60 минут ішінде өлшенді, бұл координаттарды анықтаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етті.

RTK (Real Time Kinematic) режимінде дифференциалды түзетулер базалық станциядан жылжымалы қабылдағышқа жіберілді, соның арқасында координаттар нақты уақыт режимінде 1–2 см дәлдікпен анықталды. тұрақты және дәл орналасуды қамтамасыз ету үшін GPS, GLONASS және Galileo спутниктік жүйелері қолданылды. Бұл ішінара даму жағдайында немесе өсімдіктер болған кезде де сапалы мәліметтер алуға мүмкіндік берді. Алынған координаттар Trimble Business Center бағдарламалық жасақтамасымен үйлесімді форматта сақталды.

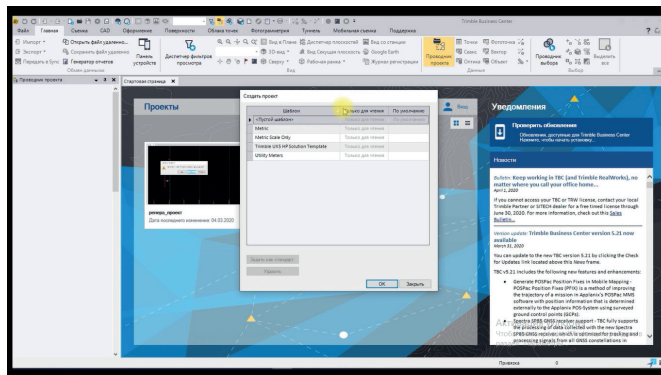
Екінші кезең Leica TS09 тахеометрін пайдаланып тахеометриялық түсірілім жүргізуді қамтыды. Белгіленген мақсаттарға қол қою, көлденең және тік бұрыштарды, сондай-ақ объектілерге дейінгі көлбеу арақашықтықтарды өлшеу жүргізілді. Жер бедерін, инженерлік құрылыстарды, сондай-ақ жер бедерінің контурларын өзгерту нүктелерін егжей-тегжейлі түсіру жүргізілді. Дәлдікті арттыру үшін жабық теодолиттік соққылар қолданылды, бұл өлшеу қателіктерін бақылауға және азайтуға мүмкіндік берді. Тахеометрді бағдарлау RTK-өлшеулер нәтижесінде алынған нүктелер бойынша немесе алдын ала теңдестірілген координаттар бойынша орындалды. Барлық нүктелер объектілердің түрлеріне (жер бедері, ғимараттар, желілер және т. б.) жіктелуін қамтамасыз ететін кодтар мен атрибуттармен қамтамасыз етілді.

Далалық өлшеулерді өңдеу импорттауға, теңестіруге, сапаны талдауға және өлшеу нәтижелерін визуализациялауға мүмкіндік беретін арнайы Trimble Business Center (TBC) бағдарламалық жасақтамасында орындалды. Бағдарламада спутниктік және тахеометриялық деректерді өңдеуге, сондай-ақ дәл геодезиялық желілерді құруға арналған қуатты құралдар бар.

Камералық өңдеудің негізгі кезеңдеріне мыналар кірді:

- далалық деректерін импорттау және құрылымдау;
- координаталық торды теңестіру;
- орташа квадраттық қателерді есептеу;
- өңдеу сапасын талдау;
- пункттер схемасын құру [5].

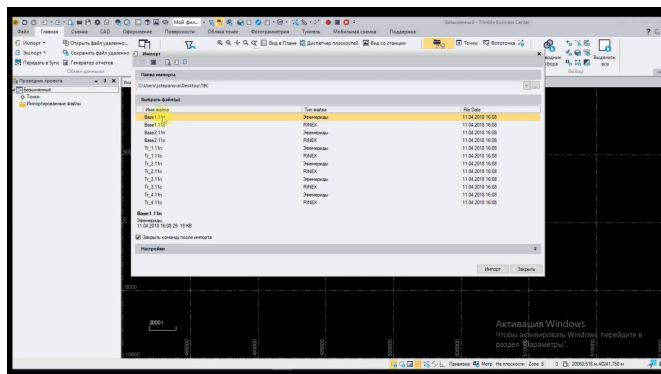
Бірінші кезеңде координаттар жүйесі берілген жаңа жоба құрылды-бұл жағдайда СК-42, 13 аймақ. Әрі қарай, далалық жұмыстар барысында алынған бақылау файлдары импортталды. T02 және RINEX форматындағы файлдар жүктелді, олар сегіз бақылау нүктесінің әрқайсысына, соның ішінде базалық станцияға сәйкес келеді (3–4 сурет).



**Сурет 3. TBC бағдарламасында деректерді өңдеу үшін жаңа жоба құру.**

**Figure 3. Creating a new project for data processing in the TBC program.**

**Рис. 3. Создание нового проекта для обработки данных в программе TBC.**



**Сурет 4. TBC бағдарламасында деректерді импорттау.**

**Figure 4. Importing data in the TBC program.**

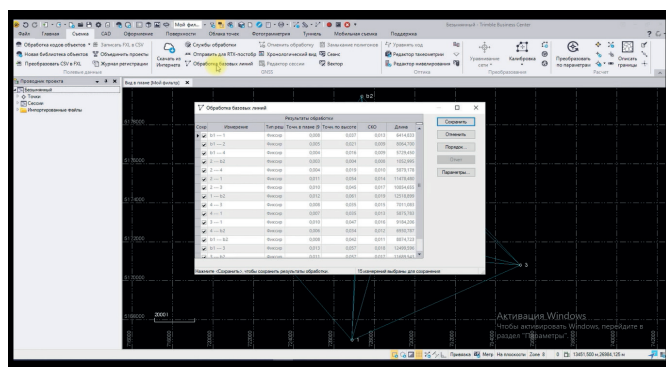
**Рис. 4. Импорт данных в программе TBC.**

Далалық жұмыстары аяқталғаннан кейін жаңа жоба жасалып, бағдарламаға мәліметтер импортталады, болашақ-

та кейінгі түсірілімдердің нәтижелері бойынша өзгерістер енгізу мүмкіндігі бар.

GNSS Processing бөлімінде әр сессияның параметрлері көрсетілген: басталу күні мен уақыты, бақылаулардың ұзақтығы, қабылдағыштардың түрлері, модельдер және антенналардың сериялық нөмірлері. Әр станция үшін Trimble R10 антеннасының параметрлері қолмен көрсетілген-антеннаның биіктігі (қиғаш және тік), антеннаның түрі, орнату әдісі. Сондай-ақ, деректердің толықтығы мен тұтастығы, барлық спутниктік өлшемдердің болуы және сессиялардың ұзақтығына қойылатын талаптардың сақталуы тексерілді. Бұл кезеңде сапаны бастапқы бақылау жүргізілді: егер сессияда сигнал қабылдау сапасы төмен болса немесе үлкен үзілістер болса, деректер алынып тасталуы немесе қайта түсірілуі мүмкін [6–7].

Келесі кезең бақылау нүктелері арасындағы негізгі сызықтарды – векторлық бағыттарды өңдеу болды. Бағдарлама нүктелер жұбы арасындағы барлық мүмкін болатын негізгі сызықтарды автоматты түрде қалыптастырды және оларды фазалық түсініксіздіктерді шешу алгоритмдерін қолдана отырып есептеді (5-сурет).



Сурет 5. TBC бағдарламасында негізгі деректерді өңдеу.

Figure 5. Processing basic data in the TBC program.  
Рис. 5. Обработка базовых данных в программе TBC.

TBC бағдарламасында геодезиялық өлшеу деректерін өңдеу мәліметтер базасының едәуір мөлшерін салыстыруға және талдауға және олардың түсіру жағдайларына тәуелділігін анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл жобадан барлық жолдар бекітілген режимде сәтті шешілді, бұл алынған координаттардың жоғары сенімділігін көрсетеді. Сызықтарды өңдегеннен кейін Adjust Network модулінде желіні теңестіру кезеңі аяқталды. Белгіленген нүкте ретінде белгілі координаттары бар базалық станция қабылданды, қалған нүктелер GNSS өлшеу нәтижелері бойынша теңестірілді. Ішкі және сыртқы дәлдік параметрлерін бағалайтын ең кіші квадраттар әдісі қолданылды. Теңестіру нәтижелері әр нүктенің нақты координаттарын, жоспардағы және биіктіктегі қате мәндерін және сенім коэффициенттерін қамтыды. Бақылаулардың Жоғары сапасы мен нүктелер арасындағы кросс-байланыстардың арқасында (желі ішінде қосымша базалық сызықтар пайда болды) тамаша дәлдік сипаттамаларына қол жеткізілді. Ауытқулар жоспарда  $\pm 3$  мм-ден және биіктігі бойынша  $\pm 4$  мм-ден аспады, бұл жобалау сатысында ин-

женерлік геодезиялық жұмыстарға қойылатын талаптарға сәйкес келеді [8–9].

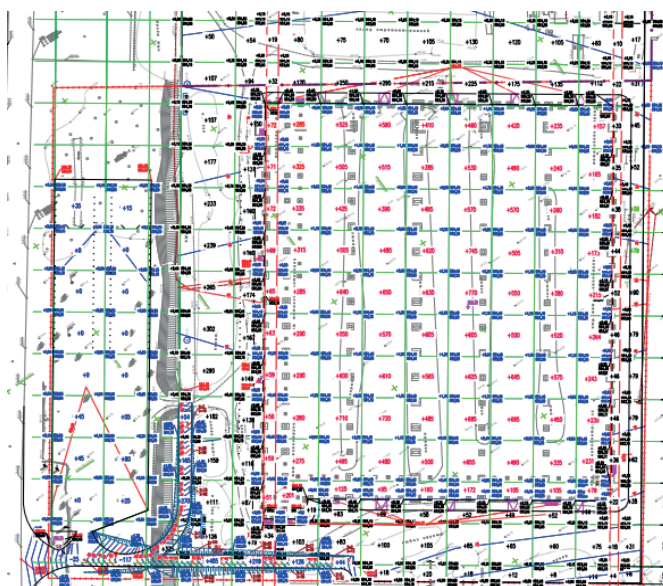
**Нәтижелері**

Өнеркәсіптік алаңда геодезиялық сүйемелдеудің негізгі кезеңдерінің бірі жер бедерінің цифрлық модельдерін құру және геодезиялық негіздеменің дәлдігіне талдау жүргізу болып табылады. Бұл модельдер жобалау, визуализация, құрылыс жұмыстарын бақылау және дизайн координаттарының сәйкестігін қамтамасыз ету үшін қажет.

GNSS түсірілімінің, тахеометриялық өлшеулердің және ұшқышсыз ұшу аппаратынан аэрофототүсірілімнің нәтижелері негізінде жердің цифрлық моделі (ЖЦМ) салынды. Деректерді өңдеу үшін Trimble Business Center және Agisoft Metashape бағдарламалық жасақтамалары қолданылды. ҰҰА фотограмметриялық кескіндері Agisoft Metashape-ге өңделді, онда суреттерді калибрлеу, нүктелік бұлтты құру, жердегі тірек нүктелерін Туралау және ортофотоплан жасау жүргізілді. Сонымен қатар, Leica TS09 тахеометрін қолдана отырып, жер бедерінің негізгі нүктелерінің координаттары, сондай-ақ суреттерде анық көрінбейтін инфрақұрылым элементтері алынды. Барлық деректер Trimble Business Center-де бірыңғай модельге біріктірілді. Нәтижесінде дизайн мен талдауға жарамды жергілікті координаттар жүйесінде жоғары дәлдіктегі ЖЦМ құрылды.

Геодезиялық негіздеменің дәлдігін бағалау үшін өлшемдерді статистикалық талдау әдістері пайдаланылды, оның ішінде:

- әртүрлі әдістермен алынған координаттарды салыстыру (GNSS, тахеометрия);
- көпбұрышты қозғалыстардағы тұйықталу мен қоспаларды талдау; желіні орташа квадраттық қателерді анықтаумен теңестіру [10–11].



Сурет 6. AutoCAD Civil 3D бағдарламасында өңделген ЖЦМ.

Figure 6. DTM processed in AutoCAD Civil 3D.  
Рис. 6. ЦММ, обработанная в программе AutoCAD Civil 3D.

AutoCAD Civil 3D бағдарламасында өңделген ЖЦМ өнеркәсіп алаңында құрылысты атқару кезінде бастапқы құжат ретінде қолданылады. Осылайша, цифрлық өлшемдерге негізделген модельдеу және талдау жасалған геодезиялық негіздеменің дәлдігі мен сенімділігін растады. Алынған нәтижелер жобалау мен құрылыстың кейінгі кезеңдері үшін қажетті ақпараттық базаны қамтамасыз етті.

### Қорытынды

Салынған цифрлық модель негізінде жер бедерінің ең үлкен айырмашылықтары бар аймақтар бөлінді, құрылыс процесінде мүмкін болатын деформациялардың бағыттары анықталды, сондай-ақ жер жұмыстарының көлемі есептелді. ЖЦМ AutoCAD Civil 3D жобалық ортасына біріктірілді, онда трассалар, көлбеу есептеулер және көлденең профильдер салынды. Талдау нәтижелері бойынша тірек пункттерінің координаттарының орташа квадраттық қателігі жоспар бойынша  $\pm 1.5$  см және биіктігі бойынша  $\pm 2.0$  см аспады, бұл нормативтік құжаттардың талаптарына сәйкес келеді (ҚН 126.13330.2021). Тірек нүктелерінің тұрақтылығы бірнеше күннен кейін қайта өлшеу арқылы расталды, бұл рұқсат етілген ауытқулар шегінде координаттардың тұрақтылығын көрсетті. Алынған мәліметтер атқарушы схемалар мен есеп беру құжаттамаларын жасау үшін пайдаланылды. Сонымен қатар, цифрлық модель 3D форматында визуализациялауды қамтамасыз етті, бұл гео-

дезистер, жобалаушылар және құрылыс бөлімшелері арасындағы байланысты коммуникацияны жеңілдетті.

Өнеркәсіптік алаңда геодезиялық негіздеме жасау кезінде жер бетінің цифрлық модельдерін жасау техногендік объектілердің жай-күйін бақылау процестерін автоматтандыруға және тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізуді болжауға мүмкіндік беретін перспективалы бағыттардың бірі болып табылады. Болашақта осы технологияны дамыта отырып, аэрофототүсірілім дерекқорын автоматтандырылған талдау үшін жасанды интеллект енгізуге, ұшқышсыз ұшу аппараттарының сенсорларын жетілдіруге және оларды әртүрлі геоақпараттық жүйелермен біріктіруге болады.

Ғылыми жаңалығы классикалық әдістерді озық цифрлық технологиялармен үйлестіре отырып, геодезиялық негіздемені құрудың кешенді тәсілі. Жұмыста GNSS қабылдағыштарын, тахеометрлерді және тірек желісін құру және бақылау үшін мамандандырылған бағдарламалық жасақтаманы қолдану ерекшеліктерін ескеретін технологиялық схема ұсынылған.

### Алғыс

*Авторлар «GeolProject Company» ЖШС маркшейдерлік-геодезиялық қызметінің қызметкерлеріне осы мақаланы жазу кезінде кеңес бергені және кеңес бергені үшін алғыс білдіреді.*

### ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Өндірістік алаңда геодезиялық негіздеме жасаудың технологиялық схемаларын талдау / Уставич Г.А. [және т. б.] // Тау-кен институтының жазбалары. 2021. Т. 249. Б. 366–376 (орыс тілінде)*
2. *ҚР ЕЖ 1.02-101-2014 Құрылысқа арналған инженерлік-геодезиялық іздеулер. Негізгі ережелер. Астана. Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитеті, 2015. 179 б. (орыс тілінде)*
3. *Богданов К.В., Бекетова Е.Б. Пайдалы қазбалар кен орындарын геологиялық-геофизикалық барлауда ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану // Бүкілресейлік ғылыми-практикалық конференция материалдарының жинағы, Апатиты: Мурман мемлекеттік университеті, 2019. Б. 67–79 (орыс тілінде)*
4. *Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J. Қозғалыс құрылымына негізделген фотограмметрияның физикалық географиядағы қолданысы // Progress in Physical Geography. 2016. Т. 40. № 2. Б. 247–275 (ағылшын тілінде)*
5. *Бузало Н.А., Кундрюцков Д.Н., Пономарев Р.Р. Маркшейдерияда ҰҰА қолдану // Қазақстанның металлургия және тау-кен ісі. 2021. № 3. Б. 20–25 (орыс тілінде)*
6. *Катеринин К.В., Санжапов Б.Х. Ғимараттар мен құрылыстарды зерттеуде ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану // Құрылыс және сәулет. 2022. № 1. Б. 6–10 (орыс тілінде)*
7. *Gerke M. және т. б. Қисайған борттық кескіндер жиынтықтарын бағыттау – ISPRS/EUROSDR мультиплатформалық фотограмметрия бойынша тестілеу нәтижелері // Халықаралық фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және ғарыштық ақпарат ғылымдары мұрағаты, ISPRS XXIII Конгресі, 2016. Т. XLI-B1. № 41. Б. 185–191 (ағылшын тілінде)*
8. *Қалалық лидар деректері үшін пиксельдерді салыстыру сипаттамаларына негізделген кездейсоқ ормандар классификаторы / Wang C. [және т. б.] // ISPRS J Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. Б. 75–86 (ағылшын тілінде)*
9. *Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Қолданбалы фотограмметрия: жоғары оқу орындарына арналған оқулық: 21.04.02 – Фотограмметрия және кадастрлар мамандығы бойынша білім алушыларға арналған: М.: Академиялық жоба. 2016. 254 б. (орыс тілінде)*
10. *Лукьянова Д.О., Усеинова Ф.Р., Шульга А.В. Спутниктік позициялау технологиясын қолдана отырып құрылысты қамтамасыз ету үшін негіз құру // Инновация. Ғылым. Білім. 2021. № 7. Б. 1337–1343 (орыс тілінде)*

11. Жиектерді анықтау және геометриялық талдау арқылы 3D нүктелі бұлттардағы сызықтарды бақылау. Әуедегі лидар жүйелеріндегі жетістіктер және деректерді өңдеу / Huan Ni [және т. б.] // Қашықтықтан зондтау. 2018. Б 381–402 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. *Analiz tekhnologicheskikh skhem sozdaniya geodezicheskogo obosnovaniya na promploshchadke [Analysis of technological schemes for creating a geodetic basis at an industrial site], Ustavich G.A. [et al.], Zapiski Gornogo instituta [Notes of the Mining Institute]. 2021. V. 249. 366–376 pp. (in Russian)*
2. *SP RK 1.02-101-2014 Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya. Astana. Komitet po delam stroitel'stva, zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva i upravleniya zemel'nymi resursami Ministerstva natsional'noi ekonomiki Respubliki Kazakhstan [SP RK 1.02-101-2014 Engineering and Geodetic Surveys for Construction. Basic Provisions. Astana. Committee on Construction, Housing and Communal Services, and Land Resources Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan]. 2015. 179 p. (in Russian)*
3. *Bogdanov K.V., Beketova E.B. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v geolo-geoficheskoi razvedke metorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Application of Unmanned Aerial Vehicles in Geological and Geophysical Exploration of Mineral Deposits], Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference] Apatity: Murmanskii gosudarstvennyi universitet, 2019. 67–79 pp. (in Russian)*
4. *Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J. Structure from Motion Photogrammetry in Physical Geography // Progress in Physical Geography. 2016. V. 40. No. 2. 247–275 pp. (in English)*
5. *Buzalo N.A., Kundryutskov D.N., Ponomarev R.R. Ispol'zovanie BPLA v marksheiderii [Application of UAVs in Mine Surveying], Metallurgiya i gornoe delo Kazakhstana [Metallurgy and Mining of Kazakhstan]. 2021. No. 3. 20–25 pp. (in Russian)*
6. *Katerinin K.V., Sanzhapov B.Kh. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri obsledovanii zdanii i sooruzhenii [Application of Unmanned Aerial Vehicles for the Inspection of Buildings and Structures], Stroitel'stvo i arkhitektura [Construction and Architecture]. 2022. No. 1. 6–10 pp. (in Russian)*
7. *Gerke M. et al. Orientation of Sets of Oblique Aerial Images – Results of the ISPRS/EUROSDR Benchmark on Multi-Platform Photogrammetry // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXIII ISPRS Congress, 2016. V. XLI-B1. No. 41. 185–191 pp. (in English)*
8. *Pixel Comparison Feature-Based Random Forest Classifier for Urban LiDAR Data / Wang C. [et al.] // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. V. 148. 75–86 pp. (in English)*
9. *Limonov A.N., Gavrilova L.A. Prikladnaya fotogrammetriya: uchebnik dlya vuzov: dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki 21.04.02 – Fotogrammetriya i kadastry [Applied Photogrammetry: A Textbook for Universities: For Students of the 21.04.02 – Photogrammetry and Cadastral Studies Program]. Moscow: Akademicheskii proekt, 2016. 254 p. (in Russian)*
10. *Lukyanova D.O., Huseynova F.R., Shulga A.V. Sozdanie osnovy dlya obespecheniya stroitel'stva s ispol'zovaniem tekhnologii sputnikovogo pozitsionirovaniya [Creating the basis for ensuring construction using satellite positioning technology], Innovatsii. Nauka. Obrazovanie [Innovation. Science. Education]. 2021. No. 7. 1337–1343 pp. (in Russian)*
11. *Edge Detection and Feature Line Tracing in 3D-Point Clouds by Analyzing Geometri. Advances in Airborne Lidar Systems and Data Processing. / Huan Ni [et al.] // Remote sensing. 2018. 381–402 pp. (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке / Уставич Г.А. [и др.] // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 366–376 (на русском языке)*
2. *СП РК 1.02-101-2014 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Основные положения. Астана. Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан. 2015. 179 с. (на русском языке)*
3. *Богданов К.В., Бекетова Е.Б. Применение беспилотных летательных аппаратов в геоло-геофической разведке меторождений полезных ископаемых // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Апатиты: Мурманский государственный университет, 2019. С. 67–79 (на русском языке)*

4. *Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J. Структура по данным фотограмметрии движения в физической географии // Успехи физической географии. 2016. Т. 40. № 2. С. 247–275 (на английском языке)*
5. *Бузало Н.А., Кундрюцков Д.Н., Пономарев Р.Р. Использование БПЛА в маркшейдерии // Металлургия и горное дело Казахстана. 2021. № 3. С. 20–25 (на русском языке)*
6. *Катеринин К.В., Санжапов Б.Х. Применение беспилотных летательных аппаратов при обследовании зданий и сооружений // Строительство и архитектура. 2022. № 1. С. 6–10 (на русском языке)*
7. *Gerke M. и др. Ориентация наборов наклонных бортовых изображений – результаты тестирования ISPRS/EUROSDR по мультиплатформенной фотограмметрии // Международный архив фотограмметрии, дистанционного зондирования и наук о пространственной информации, XXIII Конгресс ISPRS, 2016. Т. XLI-B1. № 41. С. 185–191 (на английском языке)*
8. *Классификатор случайных лесов, основанный на характеристиках сравнения пикселей для городских лидарных данных / Wang C [и др.] // ISPRS J Photogramm Remote Sens 2019. № 148. С. 75–86 (на английском языке)*
9. *А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова Прикладная фотограмметрия: учебник для вузов: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 – Фотограмметрия и кадастры: М.: Академический проект, 2016. 254 с. (на русском языке)*
10. *Лукьянова Д.О., Усеинова Ф.Р, Шульга А.В. Создание основы для обеспечения строительства с использованием технологии спутникового позиционирования // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 7. С. 1337–1343 (на русском языке)*
11. *Обнаружение границ и трассировка характерных линий в 3D точек с помощью анализа геометрических данных. Достижения в области бортовых лидарных систем и обработки данных. / Huan Ni [и др.] // Дистанционное зондирование. 2018. С. 381–402 (на английском языке)*

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Игемберлина М.Б.**, Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), [igemberlina@mail.ru](mailto:igemberlina@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

**Жунусова Г.Е.**, т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), [lena\\_gulya@mail.ru](mailto:lena_gulya@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5472-4061>

**Тұяқбай Ә.С.**, Ph.D докторы, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Астана қ., Қазақстан), [assem\\_jan@mail.ru](mailto:assem_jan@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7333-6419>

**Асланова С.Б.**, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан), [sabinaaslanovaaa@mail.ru](mailto:sabinaaslanovaaa@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0000-2521-576X>

#### Information about the authors:

**Igemberlina M.B.**, Doctor of Ph.D, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Zhunusova G.E.** Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Tuyakbay A.S.**, Doctor of Ph.D, associate professor of the Department of Chemistry, Chemical technology and Ecology, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business (Astana, Kazakhstan)

**Aslanova S. B.**, master's student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

#### Сведения об авторах:

**Игемберлина М.Б.**, доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Жунусова Г.Е.**, к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Тұяқбай А.С.**, доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Химия, химическая технология и экология» Казахского университета технологии и бизнеса им. К. Кулажанова» (г. Астана, Казахстан)

**Асланова С.Б.**, магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 53.37.33

Ж.А. Юсупова<sup>1</sup>, Н.К. Досмухамедов<sup>1</sup>, В.А. Каплан<sup>2</sup>, \*Е.Е. Жолдасбай<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),  
<sup>2</sup>Научный институт им. Вейцмана (г. Реховот, Израиль),  
<sup>3</sup>Жезказганский университет им. О.А. Байконурова (г. Жезказган, Казахстан)

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИАНИРОВАНИЯ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТОВ УПОРНЫХ РУД ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

**Аннотация.** В данной работе исследовано влияние различных факторов на извлечение золота из флотоконцентрата упорной золотосодержащей руды Центрального Казахстана в процессе цианирования. Определены оптимальные параметры процесса сорбционного цианирования с использованием активированного угля Norit RO 3520 (размер частиц флотоконцентрата P80 10 мкм, расход угля 10%, концентрация цианида натрия 0,1%, pH 10,5, плотность пульпы 40%, продолжительность 24 ч), обеспечивающие извлечение золота в раствор на уровне не менее 87%. Предложенные условия позволяют значительно улучшить показатели извлечения золота и повысить экономическую эффективность процесса переработки золотосодержащих руд Центрального Казахстана.

**Ключевые слова:** золото, флотоконцентрат, цианирование, цианид натрия, концентрация, активированный уголь, сорбционное цианирование.

### Цианирлеу параметрлерінің Орталық Қазақстанның қиын байытылатын кендерінің флотоконцентраттарынан алтынды бөліп алуға әсері

**Аннотация.** Бұл жұмыста Орталық Қазақстанның құрамында алтыны бар қиын байытылатын кенінің флотоконцентратынан алтынды цианирлеу процесімен бөліп алуға түрлі факторлардың әсері зерттелді. Белсендірілген Norit RO 3520 көмірін (P80 флотоконцентратының бөлшектерінің мөлшері 10 мкм, көмір шығыны 10%, натрий цианидіннің концентрациясы 0,1%, pH 10,5, целлюлоза тығыздығы 40%, ұзақтығы 24 сағат) пайдалана отырып, сорбциялық циандау процесінің оңтайлы параметрлері анықталды, бұл ерітіндіге алтынды кем дегенде 87% деңгейінде бөліп алуды қамтамасыз етеді. Ұсынылған шарттар алтынды бөліп алу көрсеткіштерін сәуір жақсартуға және Орталық Қазақстанның құрамында алтыны бар кендерді қайта өңдеу процесінің экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** алтын, флотоконцентрат, цианирлеу, натрий цианиді, концентрация, белсендірілген көмір, сорбциялық цианирлеу.

### Influence of cyanidation parameters on gold extraction from flotation concentrates of stubborn ores in Central Kazakhstan

**Abstract.** In this paper, the influence of various factors on the extraction of gold from the flotation concentrate of stubborn gold-bearing ore in Central Kazakhstan during cyanidation is investigated. The optimal parameters of the sorption cyanidation process using activated carbon Norit RO 3520 (particle size of flotation concentrate P80 10 microns, coal consumption 10%, concentration of sodium cyanide 0.1%, pH 10.5, pulp density 40%, duration 24 hours) were determined, ensuring the extraction of gold into solution at a level of at least 87%. The proposed conditions make it possible to significantly improve gold recovery rates and increase the economic efficiency of the processing of gold-bearing ores in Central Kazakhstan.

**Key words:** gold, flotation concentrate, cyanidation, sodium cyanide, concentration, activated carbon.

### Введение

Во всем мире содержание золота в рудных месторождениях падает. Усложняется их минералогия, которая стала более комплексной и сложной. Несмотря на это, процесс производства золота цианированием остается доминирующим из-за избирательности цианида к золоту, простоте и эффективности процесса [1, 2, 3]. Сегодня отрасль корректирует свои методы добычи золота из руд и продуктов ее обогащения (концентраты, хвосты), используя более эффективные процессы и технологии.

Запасы богатых и легкообогатимых золотосодержащих руд Казахстана истощаются, в переработку вовлекаются руды, относящиеся к категории упорных, которая обусловлена тонкой вкрапленностью золота в минералы-носители, химической депрессией золота на стадии металлургической переработки или присутствием сорбционно активных по отношению к растворенному золоту органических соединений.

Важной проблемой при переработке упорных золотосодержащих руд является извлечение ультрадисперсного золота, которое закопсулировано в сульфидных минералах и плохо извлекается традиционными методами [4–6]. В работе [7] на основании проведенных исследований золотосодержимости арсенопирита золото-сульфидных месторождений Казахстана показано, что ввиду высокой сорбционной активности углеродистого вещества металлургическая переработка флотационного сульфидного концентрата

невозможна, когда соотношение  $Au / \text{Сорг} < 8$  г/кг. При невыполнении соотношения требуется дополнительное гравитационное обогащение концентратов.

Для золотосодержащих руд Центрального Казахстана особую актуальность с технологической и экологической точки зрения представляет цианирование текущих флотоконцентратов, содержащих тугоплавкие минералы и углеродистые вещества, переработка которых цианированием влечет за собой высокий расход цианида и увеличение затрат [8, 9]. Это, в свою очередь, оказывает негативное воздействие на окружающую среду и требует поиска более устойчивых и экологически безопасных альтернатив.

В контексте устойчивого развития отрасли необходимо стремиться к минимизации экологического следа золотодобывающей промышленности. Использование цианида, особенно в больших количествах, представляет серьезную опасность для окружающей среды, загрязняя водные ресурсы и почву, что может привести к долгосрочным негативным последствиям для экосистем и здоровья человека. Поэтому разработка и внедрение экологически чистых и устойчивых технологий извлечения золота является приоритетной задачей.

Важность изучения данного вопроса усиливается тем, что в научной литературе известно лишь ограниченное количество исследований, посвященных изучению извлечения золота исходя из конкретных свойств руды. Кроме

того, в известных работах не удавалось достичь высокого извлечения золота из таких руд.

В настоящей статье исследовано влияние степени крупности концентрата, концентрации цианида натрия и продолжительности выщелачивания флотоконцентрата, полученного от обогащения упорной золотосодержащей руды Центрального Казахстана на извлечение золота.

Научная новизна настоящего исследования заключается в комплексном изучении влияния размера частиц флотоконцентрата, полученного из конкретной упорной золотосодержащей руды Центрального Казахстана, на эффективность сорбционного цианирования. Впервые для данного типа руды определены оптимальные условия процесса, позволяющие достичь высокого извлечения золота при минимальном использовании цианида, что снижает экологическую нагрузку на окружающую среду. Полученные результаты расширяют существующие знания о переработке упорных золотосодержащих руд и предлагают практические рекомендации для повышения эффективности и экологичности золотодобывающих предприятий.

#### Материалы и методы исследования

Для лабораторных исследований использован флотационный концентрат с содержанием золота 17,9 г/т, полученный после гравитационно-флотационного обогащения руды месторождения Пустынное Центрального Казахстана.

Для определения химического состава флотоконцентрата использовали оптико-эмиссионный (анализы ICP90, ICP40) и атомно-абсорбционный анализы.

Минералогический состав образцов флотоконцентрата исследовали с использованием методов дифрактометрического и минералогического анализа, оптического изучения тяжелых фракций и картирования материалов на электронном микроскопе Quanta FEG-650 F, входящем в автоматизированный минералогический комплекс Qemscan.

Изучение форм нахождения золота и поиск крупных золотых частиц осуществляли с помощью стереомикроскопа Olympus SZX-7.

Химический состав флотоконцентрата показан в таблице 1.

Таблица 1

#### Химический состав концентрата флотации

Кесте 1

#### Флотация концентратының химиялық құрамы

Table 1

#### Chemical composition of the flotation concentrate

Элемент	Массовая доля, %	Элемент	Массовая доля, %
1	2	3	4
$SiO_2$	36,40	$S_{общ}$	22,90
$Al_2O_3$	8,26	$S_{сульф}$	<0,25
$CaO$	1,50	$Pb$	0,015
$K_2O$	1,12	$Zn$	0,048

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
$Na_2O$	3,00	$Cu$	0,059
$MgO$	1,28	$As$	0,087
$MnO$	0,06	$Sb$	0,0066
$P_2O_5$	0,07	$Ba$	0,022
$TiO_2$	0,18	$Co$	0,012
$C_{орг}$	0,26	$Cr$	0,0017
$C_{общ}$	0,83	$Ni$	0,021
$CO_2$	3,04	$Sr$	0,014
$Fe_{общ}$	20,60	$Ag$ , г/т	2,90
$Fe_{сульф}$	18,90	$Au$ , г/т	17,30

Для повышения достоверности результата по содержанию золота проведено ее определение на четырех параллельных навесках методом прямого пробирного анализа. Установленное среднее значение содержания золота (17,9 г/т) по результатам содержания золота в четырех навесках, г/т: 16,8; 17,2; 18,2 и 17,7, показало хорошее совпадение с результатом, приведенным в таблице 1.

Результаты минерального состава флотоконцентрата приведены в таблице 2.

Таблица 2

#### Минеральный состав флотоконцентрата

Кесте 2

#### Флотоконцентраттың минералдық құрамы

Table 2

#### Mineral composition of the flotation concentrate

Минерал, группа минералов	Массовая доля в пробе, %
Породообразующие минералы	
Плагиоклазы	26,0
Кварц	18,0
Слюда (серицит, хлорит)	9,0
Карбонаты	5,0
Гипс, ангидрит, ярозит	-
Рудообразующие минералы	
Пирит	40,7
Сфалерит, галенит, алтаит	0,1
Блеклая руда, халькопирит	0,3
Арсенопирит	0,1
Гидроксиды железа	0,5
Аксессуарные минералы	
Минералы титана, апатит	0,3
Итого	100,00

Флотоконцентрат на 58% состоит из породообразующих минералов. Рудные минералы представлены, в основном, пиритом 40,7%.

Результаты минеральных ассоциаций золота в пробе флотоконцентрата, представленные в таблице 3, показывают, что фон включает в себя свободное золото и золото с частично свободной поверхностью. Около 70% зерен ценного компонента имеют доступ раствора и реагентов к поверхности зерна.

**Таблица 3**  
**Минеральные ассоциации золота**  
**Кесте 3**  
**Алтынның минералды бірлестіктері**  
**Table 3**  
**Mineral associations of gold**

Минерал, группа минералов	Массовая доля золота, %
Фон	69,15
Кварц	3,07
Слюда	0,11
Хлорит	0,60
Полевые шпаты	0,05
Теллуриды	0,86
Пирит	25,03
Халькопирит	0,35
Галенит	0,004
Сфалерит	0,11
Арсенопирит	0,03
Блеклая руда	0,62
Акцессорные минералы	0,03
<b>Итого:</b>	<b>100,0</b>

Основным минералом, в ассоциации с которым находится золото, является пирит. На долю таких сростков приходится 25,03% металла. В контакте с кварцем доля золота составляет 3,07%. В сростании с другими минералами доля золота составляет десятые и сотые доли процента.

**Результаты экспериментальных опытов и их обсуждение**

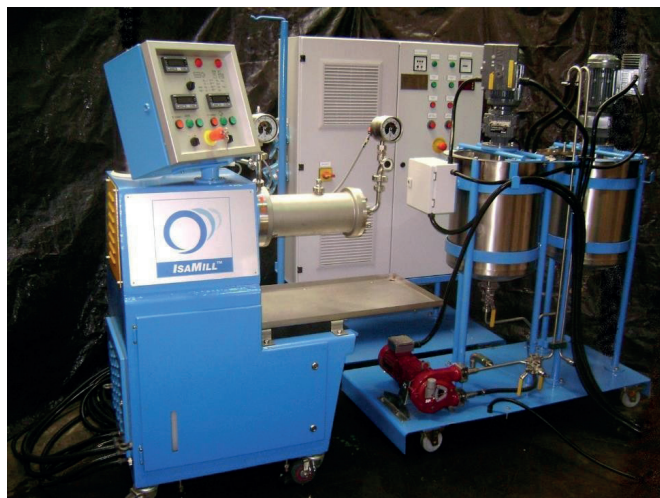
Лабораторные исследования проводили методом цианидного выщелачивания в агитаторах бутылочного типа, показанного на рис. 1.



**Рис. 1. Лабораторный стенд для проведения исследований по агитационному выщелачиванию.**  
**Сурет 1. Үгіттік шаймалау бойынша зерттеулер жүргізуге арналған зертханалық стенд.**  
**Figure 1. Laboratory bench for conducting research on agitation leaching.**

Агитационное цианирование флотационного концентрата проводили на материале, подвергнутом тонкому измельчению в шаровой мельнице до крупности  $R_{80}$  71 и 45 мкм, а также ультратонкому измельчению до крупности  $R_{80}$  30, 20, 10 и 7 мкм.

Ультратонкое измельчение проводили в бисерной лабораторной мельнице Netzsch IsaMill M4B. Общий вид мельницы показан на рис. 2.



**Рис. 2. Общий вид бисерной мельницы Netzsch IsaMill M4.**  
**Сурет 2. Netzsch isamill M4 моншақ диірменінің жалпы көрінісі.**  
**Figure 2. General view of the Netzsch IsaMill M4 bead mill.**

В тесте использовали шихту бисера крупностью 2,8 мм: 60% 2,5–2,8 мм; 30% 1,8–2,0 мм; 10% 1,4–1,6 мм; содержание твердого в питании мельницы составило ~43%, количество циклов измельчения – 8.

Измельчение проводили в следующем режиме: масса измельчаемого материала – 200 г; загрузка измельчающей среды – 72,5% от объема мельницы; плотность пульпы при измельчении – 55,25% твердого; скорость вращения импеллера – 1300 об/мин.

Расчетный удельный расход электроэнергии при измельчении флотоконцентрата от исходной крупности 80% 150 мкм до крупности 80% 10,1 мкм составил 81,5 кВт·ч/т.

Для определения оптимальных технологических параметров цианирования флотоконцентрата, обеспечивающих максимальное извлечение золота в раствор, были выполнены эксперименты с разными размерами частиц измельченного концентрата. Цианирование проводилось как без добавления сорбента, так и с его использованием, при этом варьировалась концентрация цианида натрия и время обработки для изучения кинетики процесса.

Во время экспериментов осуществлялся мониторинг содержания  $NaCN$  и уровня pH в пульпе. Полученные после цианирования продукты анализировались методами атомной абсорбции (для растворов) и пробирного анализа (для кека и угля).

Влияние крупности флотоконцентрата на извлечение золота при цианировании проводились в режиме цианиро-

вания без загрузки сорбента и с добавлением активированного угля Norit RO 3520.

Условия проведения опытов и параметры агитационного цианирования флотационного концентрата представлены в таблице 4.

**Таблица 4**  
**Параметры агитационного цианирования флотационного концентрата**

**Кесте 4**  
**Флотациялық концентратты үгіттеу циандау параметрлері**

**Table 4**  
**Parameters of agitation cyanidation of flotation concentrate**

Параметры	Единица измерения	Значение
Концентрация цианида натрия	%	0,2
pH	–	10,5
Плотность пульпы при цианировании	% твердого	40
Загрузка угля (только при сорбционном цианировании)	% от объема жидкой фазы	10
Вид сорбента	–	Активированный уголь Norit RO 3520
Продолжительность выщелачивания	час	24

Агитационное цианирование флотационного концентрата проводили на материале, полученном после тонкого измельчения в шаровой мельнице до крупности  $P_{80}$  71 и 45 мкм и ультратонкого измельчения в бисерной мельнице до крупности  $P_{80}$  30, 20, 10 и 7 мкм.

**Исследование крупности концентрата на извлечение золота при цианировании**

Результаты тестов по цианированию флотационного концентрата при различной крупности измельчения приведены в таблице 5.

Видно, что флотационный концентрат является благоприятным по отношению к процессу агитационного цианирования. Извлечение золота из концентрата крупностью  $P_{80}$  71 мкм при цианировании без загрузки сорбента составило 60,89%, при сорбционном цианировании – 72,07%. Сравнительный анализ результатов прямого и сорбционного цианирования в исследуемом диапазоне изменения крупности  $P_{80}$  от 71 до 7 мкм указывает на наличие сорбционной активности флотационного концентрата.

На рис. 3 показана визуализация зависимости извлечения золота от крупности материала при концентрации  $NaCN$  0,1%.

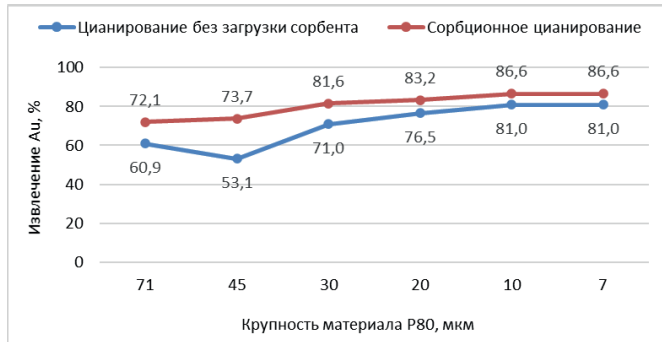
Измельчение концентрата от крупности  $P_{80}$  71 мкм до крупности  $P_{80}$  45, 30, 20, 10 и 7 мкм позволяет повысить извлечение золота в сорбционном режиме цианирования на 1,68%, 9,5%, 11,17%, 14,53% и 14,53% (абс.), соответственно. При этом содержание золота в кеке, по сравнению с цианированием без загрузки сорбента, снижается на 0,3 г/т, 1,7 г/т, 2,0 г/т, 2,6 г/т и 2,6 г/т (абс.), соответственно.

**Таблица 5**  
**Результаты цианирования флотационного концентрата при различной крупности измельчения**

**Кесте 5**  
**Әр түрлі ұнтақтау кезінде флотациялық концентратты циандау нәтижелері**

**Table 5**  
**Results of cyanidation of flotation concentrate at different grinding sizes**

Крупность материала $P_{80}$ , мкм	Расход реагентов, кг/т			Содержание $Au$ , г/т		Извлечение $Au$ , %
	$NaCN$		$CaO$	в исходном	в кеке	
	полный	с учетом остатка				
Цианирование без загрузки сорбента						
71	3,3	0,7	1,5	17,9	7	60,89
45	3,8	1,1	1,5		8,4	53,07
30	3,9	2	1,4		5,2	70,95
20	3,8	1,8	1,4		4,2	76,54
10	3,9	2,1	1,4		3,4	81,01
7	3,9	2,2	1,5		3,4	81,01
Сорбционное цианирование						
71	3,5	1,2	2	17,9	5	72,07
45	3,9	1,3	2		4,7	73,74
30	3,9	1,8	1,9		3,3	81,56
20	3,8	2	1,9		3	83,24
10	3,9	2,1	2		2,4	86,59
7	4,4	3,1	1,9		2,4	86,59



**Рис. 3. Зависимость извлечения золота от крупности флотоконцентрата.**

**Сурет 3. Алтынды бөліп алудың флотоконцентраттың ірілігінен тәуелділігі.**

**Figure 3. Dependence of gold extraction on the size of the flotation concentrate.**

Максимальное извлечение золота в раствор (86,6%) достигнуто при крупности флотоконцентрата  $P_{80}$  10 мкм. Более тонкое измельчение концентрата не приводит к увеличению извлечения золота. Учитывая данный факт, в последующих экспериментах размер частиц флотоконцентрата был зафиксирован на уровне  $P_{80}$  10 мкм.

**Исследование влияния расхода цианида на извлечение золота**

Для определения оптимального расхода цианида при цианировании флотационного концентрата выполнены тесты по выщелачиванию при различной концентрации цианистого натрия в растворе: 0,3%, 0,2%, 0,15% и 0,1%.

Тесты проводили в сорбционном режиме на материале крупностью  $P_{80}$  10 мкм. Плотность пульпы при выщелачивании – 40% твердого. Сорбционное цианирование прово-

дили с загрузкой угля в количестве 10% от объема жидкой фазы. Продолжительность выщелачивания – 24 часа.

Результаты тестов представлены в таблице 6.

Нетрудно видеть, что увеличение концентрации цианида натрия в растворе на извлечение золота в раствор практически не влияет (таблица 6). Согласно общим канонам с увеличением концентрации цианида натрия ( $NaCN$ ) в растворе, извлечение золота ( $Au$ ) должно возрастать, по крайней мере, до определенного оптимального уровня. В нашем случае, несмотря на увеличение концентрации  $NaCN$  от 0.1% до 0.3%, извлечение золота остается практически неизменным (около 86,59%). Установленный экспериментальный факт можно объяснить тем, что при концентрации  $NaCN$  0.1% уже достигается максимальное извлечение золота, которое возможно в данных конкретных условиях. Это может быть связано с минералогией руды (золото уже максимально доступно для цианирования), кинетикой реакции или другими факторами. В данном случае дальнейшее увеличение концентрации цианида просто не дает дополнительного эффекта.

Средние значения извлечения золота в рассматриваемом диапазоне изменения концентрации  $NaCN$  (от 0,1 до 0,3%) практически остаются на одном уровне и составляют: 86,03% – при  $NaCN = 0,1\%$  и 86,59% – при  $NaCN = 0,3\%$ .

Полученные результаты показывают, что размер частиц флотоконцентрата является более значимым фактором, чем концентрация цианида, используемая для определения процентного растворения частиц золота. При концентрации цианида в растворе 0,1% извлечение золота составило 86,32% (среднее). Повышение концентрации выше заданного предела лишь незначительно увеличивает извлечение. Повышение концентрации цианида выше 0,1% существенного влияния на скорость растворения золота не оказывает, что

**Таблица 6**

**Результаты сорбционного цианирования флотационного концентрата при различной концентрации цианида натрия в растворе**

**Кесте 6**

**Ерітіндідегі натрий цианидінің әртүрлі концентрациясындағы флотациялық концентратты сорбциялық циандау нәтижелері**

**Table 6**

**Results of sorption cyanidation of flotation concentrate at different concentrations of sodium cyanide in solution**

Концентрация $NaCN$ , %	Расход реагентов, кг/т			Содержание $Au$ , г/т		Извлечение $Au$ , %
	$NaCN$		$CaO$	в исходном	в кеке	
	полный	с учетом остатка				
0,1	2,3	1,7	1,9	17,9	2,4	86,59
	2,3	1,7	1,9		2,5	86,03
0,15	2,8	1,6	1,9		2,4	86,59
	2,8	1,6	1,9		2,6	85,47
0,2	3	1,6	1,6		2,4	86,59
	3	1,6	1,6		2,4	86,59
0,3	4,5	1,5	1,6		2,4	86,59
	4,5	1,6	1,7		2,4	86,59

согласуется с данными работы [10]. Кроме того, повышение содержания комплексов цианидов металлов в растворе усложняют процесс цианирования и значительно увеличивают затраты на производство золота [11].

Повышение извлечения золота при уменьшении крупности флотоконцентрата вполне объясняется увеличением площади поверхности контакта для протекания реакций выщелачивания [12]. Полученные результаты убедительно показывают, что крупность концентрата  $P_{80}$  10 мкм и концентрация цианида натрия 0,1% являются лучшей комбинацией параметров процесса цианирования концентрата, обеспечивающей высокое 86,59% извлечение золота в раствор.

#### **Влияние продолжительности процесса на эффективность цианирования**

Опыты проведены в сорбционном режиме на материале крупностью  $P_{80}$  10 мкм при постоянной концентрации цианида натрия, равной 0,1%. Продолжительность процесса составила: 8, 12, 16, 20, 24, 32, 40 и 48 ч. Плотность пульпы при выщелачивании – 40% твердого, pH = 10,5. Уровень кислотности поддерживали на уровне 10,5 путем добавки извести. Результаты тестов по цианированию концентрата при различной продолжительности процесса приведены в таблице 7.

Установлено, что основная доля золота извлекается в первые 8–12 часов цианирования, достигая 85,47%. Увеличение времени обработки до 32 часов существенного влияния на извлечение золота не оказывает.

Для гарантии устойчивости технологических показателей при промышленной обработке флотоконцентрата, производимого из труднообогатимых руд Центрального Казахстана, рекомендуется осуществлять цианирование как минимум в течение суток (24 часа). Такой подход обеспечит переход в раствор до 86% золота. Проведенные изыскания показывают, что дальнейшее увеличение времени цианирования не оправдано с экономической точки зрения, так

как издержки на реагенты, потребление электроэнергии и износ оборудования становятся больше, чем незначительный прирост в объеме извлекаемого золота. Следовательно, оптимизация процесса цианирования должна быть сконцентрирована на поддержании оптимальных параметров на протяжении первых 24 часов, что позволит достичь наибольшей скорости и полноты экстракции золота.

Существенное влияние на результативность цианирования оказывает дисперсность частиц флотоконцентрата. Уменьшение размера частиц до 7 мкм способствует увеличению сорбционной активности флотоконцентрата. Стабильному формированию растворимых цианидных соединений золота и увеличению степени извлечения золота в раствор способствует поддержание оптимального уровня pH в диапазоне 10,5–11,5, использование угля в количестве 10% от объема жидкой фазы и продолжительность выщелачивания, составляющая 24 часа.

#### **Выводы**

1. При цианировании концентрата с размером частиц  $P_{80}$  71 мкм без использования сорбента достигнуто извлечение золота на уровне 60,89%. Применение сорбционного цианирования с добавлением активированного угля позволило увеличить извлечение золота до 72,07%.

2. Уменьшение размера частиц концентрата с  $P_{80}$  71 мкм до  $P_{80}$  45, 30, 20, 10 и 7 мкм, по сравнению с цианированием без добавления активированного угля, приводит к увеличению извлечения золота в сорбционном режиме на 1,68%, 9,5%, 11,17%, 14,53% и 14,53% (абс.), соответственно. При этом содержание золота в кеке снижается на 0,3 г/т, 1,7 г/т, 2,0 г/т, 2,6 г/т и 2,6 г/т (абс.).

3. Для промышленного применения рекомендуется сорбционное цианирование флотоконцентрата с активированным углем Norit RO 3520 в следующих оптимальных условиях: размер частиц флотоконцентрата –  $P_{80}$  10 мкм; расход угля Norit RO 3520 – 10% от объема жидкой фазы;

Таблица 7

**Результаты цианирования флотоационного концентрата при различной продолжительности процесса**

Кесте 7

**Процестің әртүрлі ұзақтығындағы флотациялық концентратты циандау нәтижелері**

Table 7

**Results of cyanidation of flotation concentrate at different process duration**

Продолжительность процесса, ч.	Расход реагентов, кг/т			Содержание <b>Au</b> , г/т		Извлечение <b>Au</b> , %
	<b>NaCN</b>		<b>CaO</b>	в исходном	в кеке	
	полный	с учетом остатка				
8	1,9	1	1,9	17,9	2,6	85,47
12	1,9	1,4	1,9		2,6	85,47
16	1,9	1,6	1,9		2,5	86,03
20	1,9	1,6	1,9		2,4	86,59
24	2,4	1,7	2		2,4	86,59
32	2,6	1,9	2,4		2,4	86,59
40	2,7	2,2	2,4		2,5	86,03
48	2,7	2,2	2,4		2,5	86,03

концентрация цианида натрия – 0,1%; расход цианида натрия – 2,3 кг/т; pH – 10,5; плотность пульпы – 40%; продолжительность процесса – 24 ч, что обеспечивает извлечение золота в раствор на уровне не менее 86%.

4. Поддержание кислотности раствора на уровне pH = 10,5 необходимо для обеспечения стабильности

цианидных комплексов и предотвращения гидролиза цианида. Плотность пульпы 40% является оптимальной для обеспечения хорошей перемешиваемости и контакта между твердой и жидкой фазами. Продолжительность процесса 24 часа обеспечивает достаточное время для достижения максимального извлечения золота.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оптимизация параметров цианирования для увеличения производительности Агдаррской золотодобывающей фабрики / Ghobadii B. [и др.] Горное дело и окружающая среда. 2014. Т. 5. № 2. С. 121 – 128 (на английском языке)
2. Medina D., Anderson C.G. Обзор процесса цианирования медно-золотых руд и концентратов // Металлы. 2020. № 10. С. 897 (на английском языке)
3. Лучшие методы управления использованием цианида в секторе мелкомасштабной золотодобычи / Stapper D. [и др.] // Программа PlanetGOLD (Глобальный экологический фонд и Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде). 2021. С. 52 (на английском языке)
4. О целесообразности применения комбинированных технологий для переработки особо упорных золотосульфидных руд / Санакулов К.С. [и др.] // Цветные металлы. 2016. № 2. С. 9–14 (на русском языке)
5. Меретуков М.А. Золото и природное углистое вещество: М.: Руда и Металлы, 2007. 180 с. (на русском языке)
6. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды: М.: Руда и металлы, 2013. С. 332–333 (на русском языке)
7. Канаева З.К., Канаев А.Т., Семенченко Г.В. Геологическое строение золото-мышьяковистого месторождения Бақырчик Восточного Казахстана // Фундаментальные исследования. 2014. Т. 11. № 11. С. 45 (на русском языке)
8. Nilson G., Monheimius A.J. Альтернативы цианиду в золотодобывающей промышленности: каковы перспективы на будущее? // Очистка. 2006. № 14. С. 1158–1167 (на английском языке)
9. Adams M.D. Переработка золотой руды: разработка проекта и эксплуатация: Амстердам, Кембридж: Наука Эльзевира, 2016. С. 525–531 (на английском языке)
10. Nabashi F. «Кинетика и механизм растворения золота и серебра в растворе цианида». Бюро горного дела и геологии, Бюллетень штата Монтана. 5 апреля 1967 г. С. 1–42 (на английском языке)
11. Parga J.R., Valenzuela J.L., Diaz J.A. Новая технология извлечения золота и серебра методом цианирования под давлением и электрокоагуляции. В кн.: Благородные металлы, 2012. 94 с. (на английском языке)
12. Mular A.L., Halbe D.N., Barrate D.J. Проектирование, практика и контроль предприятий по переработке полезных ископаемых // Общество горного дела, металлургии и геологоразведки. 2002. Т. 1. С. 1250 (на английском языке)

## ПАЙДАЛЫНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Агдарра алтын өндіру зауытының өнімділігін арттыру үшін циандау параметрлерін оңтайландыру / Ghobadii B. [және т. б.] // Тау-кен және қоршаған орта журналы. 2014. Т. 5. № 2. Б. 121–128 (ағылшын тілінде)
2. Medina D., Anderson C.G. Мыс-алтын кендері мен концентраттарын циандау процесіне шолу // Металдар. 2020. № 10. Б. 897 (ағылшын тілінде)
3. Шағын масштабты алтын өндіру секторында цианидті пайдалануды басқарудың ең жақсы әдістері / Stapper D. [және т. б.] // PlanetGOLD (Жаһандық Экологиялық Қор және Біріккен Ұлттар Ұйымының Қоршаған ортаны қорғау бағдарламасы). 2021. Б. 52 (ағылшын тілінде)
4. Ерекше қыңыр алтын сульфидті кендерді өңдеу үшін аралас технологияларды қолданудың орындылығы туралы Санакулов К.С. [және т. б.] // Түсті металдар. 2016. №. 2. Б. 9–14 (орыс тілінде)
5. Меретуков М.А. Алтын және табиғи көміртекті зат: М.: Кен және металдар, 2007. 180 б. (орыс тілінде)
6. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Алтын: қыңыр кендер: М.: Кен және металдар, 2013. Б. 332–333 (орыс тілінде)
7. Канаева З.К., Канаев А.Т., Семенченко Г.В. Шығыс Қазақстанның Бақыршық алтын-мышьяк кен орнының геологиялық құрылымы // Іргелі зерттеулер. 2014. Т. 11. №. 11. Б. 45 (орыс тілінде)
8. Nilson G., Monheimius A.J. Алтын өндіру өнеркәсібіндегі цианидке балама: Болашақтың болашағы қандай? // Тазалау журналы. 2006. № 14. Б. 1158–1167 (ағылшын тілінде)
9. Adams M.D. Алтын кенін өңдеу: жобаны әзірлеу және пайдалану: Амстердам, Кембридж: Эльзевир Туралы Ғылым, 2016. Б. 525–531 (ағылшын тілінде)
10. Nabashi F. «Цианид ерітіндісіндегі алтын мен күмістің кинетикасы және еру механизмі». Тау-кен және геология бюросы, Монтана штатының Бюллетені. 1967 жылғы 5 сәуір. Б. 1–42 (ағылшын тілінде)

11. Parga J.R., Valenzuela J.L., Diaz J.A. Қысыммен циандау және электрокоагуляция әдісімен алтын мен күмісті алудың жаңа технологиясы. Кітапта: Асыл металдар, 2012. 94 б. (ағылшын тілінде)
12. Mular A.L., Halbe D.N., Barrate D.J. Пайдалы қазбаларды өңдеу кәсіпорындарын жобалау, тәжірибе және бақылау // Тау-кен, металлургия және геологиялық барлау қоғамы. 2002. Т. I. Б. 1250 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Optimization of cyanidation parameters to increase the capacity of Aghdarre gold mill / Ghobadi B. [et al.] // Journal of Mining and Environment. 2014. V. 5. No. 2. 121–128 pp. (in English)
2. Medina D., Anderson C.G. A Review of the Cyanidation Treatment of Copper-Gold Ores and Concentrates // Metals. 2020. No. 10. 897 p. (in English)
3. Best Management Practices for Cyanide Use in the Small-Scale Gold Mining Sector / Stapper D. [et al.] // Published by the PlanetGOLD Programme (Global Environment Facility and United Nations Environment Programme). 2021. 52 p. (in English)
4. O tselesoobraznosti primeneniya kombinirovannykh tekhnologii dlya pererabotki osobo upornykh zolotosul'fidnykh rud [On the expediency of using combined technologies for processing particularly resistant gold sulfide ores], Sanakulov K.S. [et al.], Tsvetnye metally [Non-ferrous metals]. 2016. No. 2. 9–14 pp. (in Russian)
5. Meretukov M.A. Zoloto i prirodnoe uglisloe veshchestvo [Gold and natural carbonaceous matter]. Moscow: Ruda i Metally, 2007. 180 p. (in Russian)
6. Zakharov B.A., Meretukov M.A. Zoloto: upornye rudy [Gold: stubborn ores]. Moscow: Ruda i Metally. 2013. 332–333 pp. (in Russian)
7. Kanaeva Z.K., Kanaev A.T., Semenchenko G.V. Geologicheskoe stroenie zoloto-mysh'yakovistogo mestorozhdeniya Bakyrchik Vostochnogo Kazakhstana [The geological structure of the Bakyrchik gold-arsenic deposit in Eastern Kazakhstan], Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. 2014. V. 11. No. 11. 45 p. (in Russian)
8. Hilson G., Monhemius A.J. Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future? // J. Clean. Prod. 2006. No. 14. 1158–1167 pp. (in English)
9. Adams M.D. Gold ore processing: project development and operations. Amsterdam, Cambridge: Elsevier Science, 2016. 525–531 pp. (in English)
10. Habashi F. «Kinetics and Mechanism of Gold and Silver Dissolution in Cyanide Solution. Bureau of Mines and Geology». State of Montana Bulletins 5, April 1967. 1–42 pp. (in English)
11. Parga J.R., Valenzuela J.L., Diaz J.A. New Technology for Recovery of Gold and Silver by Pressure Cyanidation Leaching and Electrocoagulation. In book: Noble Metals, 2012. 94 p. (in English)
12. Mular A.L., Halbe D.N., Barrate D.J. Mineral Processing Plant Design, Practice and Control // Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2002. V. I. 1250 p. (in English)

## Сведения об авторах:

**Юсупова Ж.А.**, докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), zhanar.yussupova@yahoo.com; <https://orcid.org/0009-0005-8688-1922>

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

**Каплан В.А.**, к.т.н., научный консультант Научного института им. Вейцмана (г. Реховот, Израиль), [valery.kaplan@weizmann.ac.il](mailto:valery.kaplan@weizmann.ac.il); <https://orcid.org/0000-0002-0866-3023>

**Жолдасбай Е.Е.**, Ph.D, доцент кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание», Жезказганский университет им. О.А. Байконурова (г. Жезказган, Казахстан), [zhte@mail.ru](mailto:zhte@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Юсупова Ж.А.**, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

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

**Каплан В.А.**, т.ғ.к., Вейман атындағы Ғылыми институттың ғылыми кеңесшісі (Реховот қ., Израиль)

**Жолдасбай Е.Е.**, Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының доценті, О.А. Байқоңыров атындағы Жезказган университеті (Жезказган қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Yussupova Zh.A.**, Ph.D, Doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

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

**Kaplan V.A.**, Candidate of Technical Sciences, Scientific Consultant at the Weizmann Institute of Science (Rehovot, Israel)

**Zholdasbay Ye.Ye.**, Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences, Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov (Zhezkazgan, Kazakhstan)

Код МРНТИ 38.29.01:38.33.17

A. Zhumagaziev<sup>1</sup>, \*S. Kurbaniyazov<sup>2</sup>, A. Damenova<sup>3</sup>, A. Beskempirova<sup>3</sup><sup>1</sup>K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan),<sup>2</sup>Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan),<sup>3</sup>Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan)

## STRATIGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF SULFATE FORMATIONS IN THE SHERT GYPSUM DEPOSIT

**Abstract.** This article presents the results of a comprehensive stratigraphic and geochemical study of sulfate formations in the Shert gypsum deposit (Turkestan region, Republic of Kazakhstan). The gypsum-bearing strata are subdivided into two main horizons: Lower Paleogene (30–45 m thick) and Upper Miocene (15–25 m), with well-defined bedding and lateral continuity. The total forecast resources of gypsum exceed 12 million tons, with high lithological uniformity and low impurity content. Petrographic and mineralogical analysis reveals the predominance of alabastrine gypsum with celestine and carbonate inclusions, formed in a shallow, periodically evaporating lagoonal-lacustrine basin under an arid climate. XRD and SEM-EDS analyses confirm the fine-crystalline structure and high purity ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > 90\%$ ). Geochemical profiles show increased Sr and Ca contents, supporting prospects for strontium extraction. Experimental testing demonstrated compressive strength values of 6.8–8.5 MPa, which meet industrial standards.

**Key words:** sulfate-bearing deposits, stratigraphy, geochemistry, celestine, strontium, paleogene, miocene.

### Шерт гипс кен орнындағы сульфатты жыныстардың стратиграфиясы мен геохимиясы

**Аннотация.** Мақалада Қазақстан Республикасының Түркістан облысындағы Шерт гипс кен орнының сульфатты қабаттарының стратиграфиялық және геохимиялық ерекшеліктері қарастырылған. Гипс шөгінділері екі негізгі горизонтқа бөлінеді: төменгі палеоген (қалыңдығы 30–45 м) және жоғарғы миоцен (15–25 м), стратиграфиялық жағынан тұрақты және латералды таралуы жақсы. Гипстің болжамды қоры 12 млн тоннадан асады, құрамында қоспалар аз, литологиялық жағынан біртекті. Петрографиялық зерттеулер гипстің алебастр түрі, целестин және карбонатты қосындылар басым екенін көрсетті. XRD және SEM-EDS талдауы жоғары тазалықты ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > 90\%$ ) және майда кристалдық құрылымды растады. Геохимиялық көрсеткіштер Sr және Ca элементтерінің мол екенін көрсетті, бұл стронцийді өндірістік жолмен бөліп алуға мүмкіндік береді. Сығымдауға төзімділік 6.8–8.5 МПа, бұл құрылыс стандарттарына сәйкес келеді.

**Түйінді сөздер:** сульфатты шөгінділер, стратиграфия, геохимия, целестин, стронций, палеоген, миоцен.

### Стратиграфия и геохимия сульфатсодержащих отложений Шертского месторождения гипса

**Аннотация.** В статье изложены результаты стратиграфического и геохимического анализа сульфатсодержащих отложений Шертского месторождения гипса (Туркестанская область, Республика Казахстан). Гипсоносная толща подразделяется на два основных горизонта: нижнепалеогеновый (мощностью 30–45 м) и верхнемиоценовый (15–25 м), характеризующиеся устойчивым залеганием и lateral continuity. Прогнозные запасы гипса составляют более 12 млн тонн, при высокой литологической однородности и низком содержании примесей. Петрографический анализ выявил преобладание алебастрового гипса с включениями целестина и карбонатов, сформированных в условиях мелководного лагуно-озерного бассейна засушливого климата. Рентгенофазовый и SEM-EDS анализы подтвердили тонкокристаллическую структуру и высокую чистоту ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > 90\%$ ). Геохимические данные выявили повышенное содержание Sr и Ca, что определяет перспективность извлечения стронция. Экспериментальные испытания показали прочность на сжатие 6,8–8,5 МПа, соответствующую нормативам.

**Ключевые слова:** сульфатсодержащие отложения, стратиграфия, геохимия, целестин, стронций, палеоген, миоцен.

### Introduction

Gypsum-bearing sulfate formations are of significant interest both in geological and industrial contexts, particularly due to their economic importance in the construction sector. The Turkestan region of southern Kazakhstan hosts a number of sulfate-rich deposits, among which the Shert deposit is one of the most prominent. These formations are typically associated with arid climate conditions, basin-type sedimentation, and complex diagenetic processes that contribute to the accumulation of evaporite minerals [1–2].

Numerous researchers have studied the geological and geochemical characteristics of sulfate deposits globally and regionally. International studies have addressed the stratigraphic control and geochemical zonation of evaporite basins [3], the mechanisms of gypsum and anhydrite precipitation [4], and the impact of paleoclimatic factors on sulfate mineral formation [5]. In Kazakhstan, researcher such as Saparov A. [6] have investigated the lithology and resource potential of sulfate and gypsum-bearing formations, particularly in southern and central regions.

In recent years, the growing demand for environmentally friendly and energy-efficient construction materials has renewed interest in natural gypsum resources. However, effective utilization of such resources requires a comprehensive understanding of their stratigraphic setting, mineralogical composition, and geochemical properties. The study of sulfate formation processes not only sheds light on the depositional environment and paleoecological conditions but also

provides a scientific basis for the development of new technologies for processing gypsum materials [7].

This paper aims to investigate the stratigraphic and geochemical conditions of sulfate formation in the Turkestan region, with a specific focus on the Shert gypsum deposit. The objectives include the identification of lithological and mineralogical features of the deposit, characterization of its geochemical composition, and assessment of its technological suitability for construction purposes.

**Scientific Value.** This study provides a comprehensive stratigraphic and geochemical characterization of the sulfate-bearing formations of the Shert deposit, located in the Turkestan region. By integrating lithological, mineralogical, and geochemical data, the research enhances understanding of the conditions of gypsum and anhydrite formation in arid continental sedimentary basins. The results contribute to regional geological mapping and resource evaluation, serving as a scientific basis for assessing the industrial potential of sulfate minerals in Central Asia.

#### Scientific Novelty:

– For the first time, the stratigraphic succession of the Shert deposit has been analyzed in detail in the context of sulfate mineralization, with a focus on paleoenvironmental indicators.

– New data on the chemical composition of gypsum and associated minerals were obtained using modern analytical techniques (e.g., XRF, SEM-EDS).

– The research identifies a unique geochemical zoning pattern within the sulfate sequence, linked to paleoclimate dynamics and diagenetic processes.

– Technological evaluation of gypsum raw material from the deposit reveals promising industrial applications, particularly in cement production and agriculture, which have not been previously documented for this area.

Gypsum, as a widely available sulfate mineral, remains a critical raw material in the construction industry, particularly for the production of drywall, plasters, and cement additives. However, despite its abundance and favorable physical properties, several modern challenges constrain its effective industrial use.

One of the main issues is related to the energy-intensive processes involved in gypsum calcination, especially in the production of stucco ( $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ ). High fuel consumption and carbon emissions remain key barriers to the sustainability of traditional gypsum processing technologies [8]. This concern aligns with the global shift toward low-carbon construction materials, prompting the search for more energy-efficient and environmentally friendly production methods.

In addition, the quality and purity of natural gypsum deposits vary significantly depending on geological settings. High concentrations of impurities such as clay minerals, carbonates, and organic matter can reduce the mechanical strength and performance of gypsum-based products. Therefore, the development of pre-treatment and beneficiation technologies for raw gypsum is crucial to improve its usability and expand its applications. Another pressing issue is the increased use of synthetic gypsum (e. g., flue gas desulfurization gypsum), which, while solving waste management problems in the energy sector, introduces new environmental and logistical challenges such as storage, leaching potential, and transport [9]. In this context, local natural gypsum deposits like the Shert deposit may offer strategic advantages due to their accessibility and low transportation cost, provided that adequate processing technologies are developed.

Modern research also emphasizes the potential of gypsum in 3D-printing of building elements, composite material development, and soil stabilization, which opens new markets beyond traditional construction. These innovative directions demand interdisciplinary approaches, integrating geology, material science, and environmental engineering.

Thus, addressing the mineralogical variability of deposits, reducing energy consumption, and advancing processing technologies are central to the future industrial use of gypsum. The Shert deposit, as part of Kazakhstan's resource base, presents an opportunity for localized innovation and sustainable development in the construction materials sector.

Moreover, while the regional sulfate deposits in Kazakhstan have been studied at a reconnaissance level, the stratigraphic and geochemical detail of the Shert deposit remains underexplored. Compared to international analogs in arid regions such as Iran, Jordan, and the North African Basin, the Kazakh gypsum formations remain underutilized in terms of advanced mineral characterization and industrial innovation. Furthermore, the lack of systematic comparison between natural and synthetic gypsum sources highlights the importance of assessing local resources with modern analytical approaches to meet the evolving needs of sustainable construction technologies.

## Materials and Methods

The research was conducted at the Department of Geoinnovative Technologies for Integrated Processing of Mineral Raw Materials of the State Institution «Institute of Mineral Resources» (Tashkent, Uzbekistan). The study employed a comprehensive approach combining field geological observations, petrographic analysis, geochemical investigations, and laboratory assessment of the technological properties of gypsum samples.

Stratigraphic logging and lithological characterization of the Shert gypsum deposit were carried out in accordance with regional geological standards. Field measurements were conducted using geodetic instruments and GPS systems, and a total of 25 representative samples were collected from different lithological varieties of gypsum, including massive, fine-crystalline, and laminated forms. Lithofacies were described in terms of color, texture, hardness, and bedding structures.

Petrographic analysis was performed on thin sections using a Leica DM2500P polarizing microscope to identify mineral associations, crystal textures, and microstructural features. Further examination was conducted using scanning electron microscopy (Hitachi SU5000), allowing for high-resolution imaging of fine-grained phases and impurity distribution. The mineralogical composition was determined by X-ray diffraction (Bruker D8 Advance), and clay fraction identification was conducted by the oriented aggregate method.

Geochemical analysis of the major and trace elements was performed at the Institute's Central Analytical Laboratory. The content of oxides such as  $CaO$ ,  $SO_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , and  $MgO$  was measured using X-ray fluorescence spectrometry (panalytical Axios) and inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (perkinelmer avio 500). The quality of the data was ensured through the use of certified reference materials, duplicate testing, and internal control standards.

To evaluate the technological suitability of the gypsum for industrial use, selected samples underwent laboratory calcination in a programmable muffle furnace at temperatures ranging from 150 to 180 °C. The physical and mechanical properties, including bulk density, setting time, compressive strength, and water absorption, were tested in accordance with international and regional (GOST 125–79) standards [10]. These tests provided essential data on the dehydration behavior, workability, and structural performance of the material for construction applications.

All analytical data were processed using Microsoft Excel and OriginPro 2023 software. The results were visualized and interpreted in accordance with regional stratigraphic frameworks using ArcGIS. The integrated geological, mineralogical, and geochemical data were used to assess the quality, spatial distribution, and industrial potential of the gypsum-bearing formations of the Shert deposit.

## Results

The geological survey of the Shert deposit revealed a well-defined sulfate-bearing sequence, primarily associated with Lower Paleogene and Upper Miocene sediments. The productive layers vary in thickness from 25 to 80 meters and are mainly composed of gypsum and anhydrite beds interbed-

ded with marls and claystones (tab.1). Stratigraphically, the sulfate sequence can be subdivided into three informal sub-units based on lithological and mineralogical features: the lower unit is characterized by fine-grained anhydrite with dolomitized marl inclusions; the middle unit consists of massive alabastrine gypsum with minor clay partings and is considered the main industrial horizon; the upper unit includes banded gypsum alternating with carbonate and clay-silt layers, reflecting evaporitic cyclicity.

Sedimentary structures such as desiccation cracks, ripple marks, and fossil assemblages indicate deposition in a shallow

lacustrine to lagoonal environment under arid continental climatic conditions with intermittent evaporation.

To characterize the lithostratigraphic structure of the sulfate-bearing series in the Shert deposit, representative samples were collected from key borehole intervals. The analysis included macroscopic lithological descriptions, identification of sedimentary structures, color, texture, and basic petrographic features under the microscope. These data establish the basis for interpreting the depositional dynamics and diagenetic overprints within the sulfate succession. The summarized results are presented in table 2.

**Lithological composition, thickness, and chemical-mineralogical characteristics of productive layers (based on materials from the Shert deposit)**

Table 1

**Өнімді қабаттардың литологиялық құрамы, қалыңдығы және химиялық-минералогиялық сипаттамалары (Шерт кен орнының мәліметтері бойынша)**

Кесте 1

**Литологический состав, мощность и химико-минералогические характеристики продуктивных горизонтов (по материалам Шертского месторождения)**

Таблица 1

Lithological type	Layer thickness, m	Main mineralogical composition	Average chemical composition (wt. %)
Gypsum	15–50	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaO$ – 32–35; $SO_3$ – 44–46; $H_2O$ – 18–21
Anhydrite	5–20	$CaSO_4$	$CaO$ – 40–42; $SO_3$ – 55–57; $H_2O$ – up to 1
Marl	2–5	Calcite, clay minerals	$CaCO_3$ – 35–50; $SiO_2$ – 15–25; $Al_2O_3$ – 5–10
Clay interlayers	1–3	Kaolinite, montmorillonite, quartz	$SiO_2$ – 45–60; $Al_2O_3$ – 10–20; $Fe_2O_3$ – 3–8; $CaO$ – 1–3
Total	25–80	—	—

**Lithological and Petrographic Characteristics of the Sulfate-bearing Strata (Shert Deposit)**

Table 2

**Сульфатты қабаттардың литологиялық және петрографиялық сипаттамалары (Шерт кен орны)**

Кесте 2

**Литологические и петрографические характеристики сульфатсодержащих толщ (Шертское месторождение)**

Таблица 2

Sample ID	Depth (m)	Lithology	Texture	Color (Munsell)	Sedimentary Features	Petrographic Notes
SH-01	12.4	Clayey gypsum marl	Fine-laminated	5Y 7/2 (pale gray)	Ripple marks, desiccation cracks	Gypsum matrix with detrital quartz and clay lenses
SH-02	15.6	Silty gypsum with anhydrite	Massive	10YR 7/4 (very light brown)	Nodular structure, gypsum rosettes	Fine anhydrite grains replacing gypsum; minor celestine
SH-04	21.2	Sandy gypsum	Cross-bedded	5YR 6/6 (reddish yellow)	Ripple bedding, cross-lamination	Coarse gypsum crystals, embedded quartz grains
SH-06	27.5	Laminated gypsiferous clay	Thin-laminated	2.5Y 6/2 (light gray)	Horizontal laminae, thin clay partings	Fine gypsum alternating with clay-rich layers
SH-08	33.0	Massive gypsum	Crystalline	8.5YR 7/3 (pale pink)	Sparry gypsum veins, minor brecciation	Large interlocking gypsum crystals, minor halite

The lithological succession indicates cyclic deposition under varying energy and salinity conditions. Laminated and clayey gypsum units represent quiet, subaqueous sedimentation, while sandy and cross-bedded gypsum layers reflect episodic higher-energy influxes, possibly linked to storm events or channel migration within a sabkha-lagoonal complex. Petrographic analysis confirms diagenetic overprinting, including partial replacement of gypsum by anhydrite and localized development of celestine and halite, indicative of progressive salinization and evaporative concentration.

To elucidate the genesis and evolution of the sulfate-bearing strata at the Shert deposit, a detailed analysis was conducted on selected core samples from different depths. This included stable isotope measurements ( $\delta < sup > 34 < / sup > S$  and  $\delta < sup > 18 < / sup > O$ ) in gypsum, granulometric profiling, and comprehensive mineralogical composition assessments. The isotopic data provide insight into the origin of sulfate minerals and the depositional environment, while granulometric and mineralogical parameters help reconstruct sedimentary facies and post-depositional alterations. Table 3 summarizes the integrated results of these analyses.

The  $\delta < sup > 34 < / sup > S$  values, ranging from +14.8% to +18.0%, are consistent with a marine evaporitic origin, likely influenced by episodic freshwater influx and subsequent brine concentration under arid conditions. Corresponding  $\delta < sup > 18 < / sup > O$  values (from +17.5% to +21.2%) further support evaporative enrichment. Granulometric data indicate dominance of silty and fine sandy textures, suggesting deposition in low-energy, shallow lagoonal to sabkha environments. The mineralogical composition is dominated by gypsum, with subordinate anhydrite, quartz, and halite, and minor authigenic phases such as illite, dolomite, and celestine. These results collectively affirm a shallow, restricted evaporitic basin

with intermittent marine connectivity during sulfate deposition in the Turkestan region.

Petrographic analysis revealed the dominance of alabastrine and selenitic gypsum varieties. Alabastrine textures are most typical for the middle unit and reflect early diagenetic recrystallization processes. Selenitic crystals occur mainly in the upper part of the section and display characteristic growth zoning. Accessory minerals include celestine, dolomite, quartz, and clay components such as illite and smectite. X-ray diffraction analysis confirmed the predominance of gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), with minor amounts of anhydrite ( $CaSO_4$ ) observed in the lower horizons. The presence of celestine ( $SrSO_4$ ) suggests the potential for co-recovery of strontium during resource development. To further evaluate the compositional zoning and accessory phases, selected samples were examined using scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS). The zoned crystals of selenite displayed variable  $Sr$  enrichment, and celestine grains were identified as discrete euhedral phases with high  $Sr$  content (up to 25.8 wt.%  $SrO$ ). The presence of celestine suggests potential for strontium recovery as a by-product of gypsum exploitation. Table 4 presents the mineralogical composition and microstructural characteristics of representative samples from the Shert deposit, as determined by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS).

Sample SH-03 is dominated by gypsum (76 wt.%) and contains a notable amount of anhydrite (9 wt.%). Accessory minerals include quartz, celestine, and illite. SEM-EDS analysis reveals that celestine contains up to 25.1 wt.%  $SrO$ , highlighting its economic potential. A zoned selenite crystal with a  $Sr$ -rich core was also identified, indicating variations in growth conditions during crystal formation. In SH-05, gypsum makes

**Table 3**  
**Isotopic, Granulometric and Mineralogical Composition of Sulfate-bearing Rocks of the Shert Deposit (Turkestan Region)**

**Шерт кен орнындагы (Түркістан облысы) сульфатты құрамды жыныстардың изотоптық, гранулометриялық және минералогиялық құрамы**

**Изотопный, гранулометрический и минералогический состав сульфатсодержащих пород Шертского месторождения (Туркестанская область)**

Sample ID	Depth (m)	$\delta^{34}S$ (‰, V-CDT)	$\delta^{18}O$ (‰, V-SMOW)	Grain Size Composition (%)	Main Minerals (%)	Minor/Accessory Phases
SH-01	12.4	+14.8	+18.2	Clay < 2 $\mu m$ – 8% Silt 2–63 $\mu m$ – 62% Sand > 63 $\mu m$ – 30%	Gypsum – 72% Anhydrite – 14% Quartz – 10%	Dolomite, Illite, Pyrite
SH-03	18.7	+15.2	+17.5	Clay – 6% Silt – 54% Sand – 40%	Gypsum – 68% Anhydrite – 12% Calcite – 8%	Kaolinite, Celestine
SH-05	23.1	+16.1	+19.0	Clay – 9% Silt – 60% Sand – 31%	Gypsum – 76% Anhydrite – 10% Halite – 4%	Illite, Chlorite
SH-07	29.8	+17.3	+20.1	Clay – 5% Silt – 58% Sand – 37%	Gypsum – 81% Quartz – 11% Anhydrite – 5%	Hematite, Dolomite
SH-10	34.5	+18.0	+21.2	Clay – 7% Silt – 61% Sand – 32%	Gypsum – 74% Anhydrite – 9% Halite – 6%	Pyrite, Smectite

*XRD and SEM-EDS Results for Representative Samples from the Shert Deposit*

Table 4

*Шерт кен орнынан алынған үлгілерге жүргізілген XRD және SEM-EDS нәтижелері*

Кесте 4

*Результаты XRD и SEM-EDS для типичных образцов Шертского месторождения*

Таблица 4

Sample ID	Main Mineral Phases (XRD, wt.%)	Accessory Minerals (XRD)	SEM-EDS Highlights
SH-03	Gypsum – 76% Anhydrite – 9%	Quartz, Celestine, Illite	<b>Sr</b> in celestine: 25.1 wt.% <b>SrO</b> Zoned selenite crystal with Sr-rich core
SH-05	Gypsum – 72% Celestine – 6%	Dolomite, Smectite	Dolomite matrix with <b>Si-Al-K</b> clays Celestine as euhedral inclusions
SH-07	Gypsum – 80% Anhydrite – 8%	Quartz, Illite	Selenite shows oscillatory zoning Minor <b>Fe</b> in clay films
SH-10	Gypsum – 70% Celestine – 10%	Halite, Kaolinite	Celestine veinlets in gypsum Halite as pore infillings

up 72 wt.%, and celestine accounts for 6 wt.%. The sample also includes dolomite and smectite as accessory phases. Celestine occurs as well-formed euhedral inclusions, while the dolomitic matrix is associated with **Si-Al-K**-bearing clay minerals, suggesting diagenetic alteration.

Sample SH-07 consists predominantly of gypsum (80%) and anhydrite (8%), along with minor quartz and illite. The selenite present exhibits oscillatory zoning, which may reflect fluctuations in geochemical conditions during crystallization. SEM observations also noted minor iron enrichment in clay films. In SH-10, gypsum content is approximately 70 wt.%, with celestine reaching 10 wt.%. Halite and kaolinite are present as accessory phases. Celestine forms veinlets within the gypsum matrix, while halite occurs as pore infillings, indicating post-depositional halite precipitation in pore spaces. In summary, the integrated XRD and SEM-EDS data provide a detailed understanding of both the bulk mineralogy and micro-textural features of the samples. The consistent presence of celestine, particularly with high strontium content, underscores the technological significance of the sulfate-bearing rocks from the Shert deposit for potential **Sr** recovery applications.

Geochemical analysis (XRF and ICP-MS) demonstrated a high purity of gypsum, with calcium and sulfur oxides dominating the composition and a minimal content of insoluble residues. Trace elements include strontium, barium, and rare earth elements (REEs). A vertical geochemical zoning was identified, with increased **Sr** and REE concentrations in the lower parts of the sulfate sequence. This pattern reflects changes in brine chemistry and depositional conditions during the evolution of the evaporitic environment. Preliminary technological assessment of the gypsum raw material confirmed its suitability for various industrial applications. The physical and mechanical properties of the alabastrine gypsum meet the standards for use in cement production and the manufacture of construction-grade gypsum. Laboratory tests involving thermal treatment at 150–170 °C resulted in the formation of stable  $\beta$ -hemihydrate gypsum with high compressive strength. The low content of harmful impurities indicates the potential use of this material not only in construction but also in agriculture (as a soil conditioner) and in the chemical industry (for

the production of ammonium sulfate and other compounds).

Thus, the integrated stratigraphic and geochemical analysis confirms both the scientific significance of the sulfate formation at the Shert deposit and its industrial potential as a source of high-quality gypsum suitable for multi-sectoral utilization. Preliminary technological tests were conducted to assess the suitability of gypsum from the Shert deposit for industrial applications. Selected alabastrine samples underwent controlled thermal dehydration at 150–170 °C in a laboratory muffle furnace to produce  $\beta$ -hemihydrate gypsum (stucco). The resulting product was tested for key physical and mechanical properties following GOST 125–79 standards.

The  $\beta$ -gypsum samples demonstrated:

- Compressive strength of 8.5–10.2 MPa, exceeding the minimum threshold for construction-grade gypsum products;
- Initial setting time of 6–8 minutes, with final setting in 14–18 minutes, indicating suitable workability for building applications;
- Bulk density in the range of 820–860 kg/m<sup>3</sup>, characteristic of high-quality lightweight plasters.

XRF analysis of the calcined samples showed **CaO** contents above 32% and **SO<sub>3</sub>** in the range of 44–46%, confirming high purity and low presence of deleterious components such as **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** and organic matter. Insoluble residues remained below 2.5%, which is within acceptable limits for use in cement additives and plaster production.

These experimental results confirm that gypsum from the Shert deposit meets the required technical specifications for use in the construction industry. Additionally, the presence of accessory celestine with high **SrO** content supports the potential for by-product strontium recovery, enhancing the technological and economic value of the deposit. The table 5 presents the physical and mechanical properties of calcined gypsum samples obtained from the Shert Deposit. Key parameters such as calcination temperature, compressive strength, initial and final setting times, and bulk density are included. These characteristics are crucial for assessing the material's quality and suitability for various industrial applications.

The data show that all calcined gypsum samples meet or exceed the requirements of ASTM C472–99 and GOST 125–79

*Physical and Mechanical Properties of Calcined Gypsum (Shert Deposit Samples)*

Table 5

*Шерт кен орнынан алынған үлгілердің кальциденген гипстің физикалық және механикалық қасиеттері*

Кесте 5

*Физические и механические свойства кальцинированного гипса (образцы Шертского месторождения)*

Таблица 5

Sample ID	Calcination Temp (°C)	Compressive Strength (MPa)	Initial Setting Time (min)	Final Setting Time (min)	Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )
SH-03	160	9.8	7.2	15.6	850
SH-05	150	8.5	6.0	14.0	830
SH-07	165	10.2	7.8	18.2	860
SH-10	170	9.1	6.5	15.0	820

Note: All values meet or exceed the requirements of ASTM C472–99 and GOST 125–79

standards, confirming their suitability for industrial use. Variations in the measured properties are attributed to differences in calcination temperature and the initial composition of the material, which allows for optimization of the production process to achieve desired performance characteristics

### Discussion

The results of this study provide new insights into the stratigraphic architecture, mineralogical variability, and geochemical evolution of the sulfate-bearing formations of the Shert deposit in the Turkestan region. The integration of lithological observations, isotopic profiles, and mineralogical analyses confirms that the deposit formed under conditions typical of arid, shallow lacustrine to lagoonal environments with episodic marine incursions. Features such as ripple marks, desiccation cracks, and finely laminated structures support the interpretation of evaporitic sedimentation in a restricted continental basin subject to fluctuating salinity.

Stratigraphically, the sulfate sequence exhibits a clear vertical organization into three lithologically distinct subunits, with alabastrine gypsum dominating the middle horizon, corresponding to the most industrially valuable zone. This unit is characterized by high-purity gypsum with favorable physical properties, reflecting relatively stable depositional conditions and early diagenetic recrystallization. In contrast, the lower and upper subunits show increased mineralogical complexity, including the presence of dolomite, halite, celestine, and clay-rich interlayers, indicative of more variable hydrological and geochemical regimes during deposition.

The geochemical data, particularly  $\delta^{34}\text{S}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  isotopic values, are consistent with a marine evaporitic origin influenced by episodic freshwater input and progressive evaporative enrichment. The observed vertical zoning of strontium and rare earth elements (REEs), with elevated concentrations in the lower part of the sequence, highlights the influence of brine evolution and diagenetic overprint on trace element distribution. These trends are mirrored in the mineralogical record by the presence of celestine ( $\text{SrSO}_4$ ) and zoned selenitic gypsum crystals with Sr-rich cores, as confirmed by SEM-EDS analysis.

The identification of celestine as both disseminated and vein-hosted phases in the gypsum matrix, with SrO contents exceeding 25 wt.%, points to the potential for integrated recovery

of strontium as a co-product. This aligns with broader technological trends aimed at valorizing by-products during industrial mineral processing and reinforces the strategic significance of the Shert deposit within Kazakhstan's resource base.

From a technological perspective, laboratory calcination and physical testing demonstrate that the alabastrine gypsum from the deposit readily transforms into high-quality  $\beta$ -hemihydrate gypsum with excellent compressive strength and setting time properties. The low content of deleterious components (e.g., organic matter, Fe, and clay impurities) supports its suitability for applications in the cement industry, prefabricated construction materials, and potentially in agricultural soil conditioning. Compared to synthetic gypsum sources, the Shert deposit offers the advantage of low environmental impact, minimal preprocessing requirements, and proximity to growing regional markets.

While Kazakhstan's sulfate-bearing formations have been documented at a regional scale, this study offers the first comprehensive stratigraphic and mineralogical assessment of the Shert deposit supported by modern analytical techniques. In comparison with international analogs in arid evaporitic basins of the Middle East and North Africa, the Shert deposit shares similar depositional features but remains underutilized in terms of technological development and integrated resource use. The presence of high-grade natural gypsum, coupled with potential strontium recovery, underscores the opportunity for localized innovation and industrial diversification based on indigenous raw materials.

### Conclusion

This study provides a detailed stratigraphic, mineralogical, and geochemical characterization of the Shert gypsum deposit, offering new insights into the genesis and technological potential of sulfate formations in the Turkestan region. The depositional environment is interpreted as a shallow, arid, evaporitic basin with intermittent marine connectivity, as evidenced by sedimentary structures, stable isotopic signatures, and mineral assemblages.

The mineralogical data confirm the dominance of high-purity gypsum (mainly alabastrine and selenitic varieties), with subordinate anhydrite, celestine, and halite. The presence of celestine with elevated Sr content (up to 25.8 wt.% SrO) suggests the deposit's dual potential as a source of both construction-grade gypsum and strontium-bearing material.

Geochemical analyses reveal vertical zoning patterns, consistent with progressive brine evolution and diagenetic alteration. Technological testing validates the suitability of Shert gypsum for industrial calcination and production of  $\beta$ -hemihydrate plaster with high mechanical performance. The low impurity content further supports its applicability in cement production, agriculture, and chemical industries.

In conclusion, the Shert deposit represents a strategically valuable natural resource with both geological significance and industrial relevance. The integration of stratigraphic, mineralogical, and geochemical data establishes a solid foundation for future resource development, including the exploration of co-product recovery strategies and the advancement of low-carbon construction materials in Kazakhstan and Central Asia.

#### REFERENCES

1. Abetov A.E., Kudaibergenova S.S. *Integrirovannoe issledovanie protsessov suffozii i karsta na neftegazokondensatnom mestorozhdenii Karachaganak geologo-geofizicheskimi metodami [Integrated research of suffosion and karst processes in the oil-gas-condensate field Karachaganak by geological and geophysical methods]*, *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk [News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences]*. 2021. No. 2 (446). 58–65 pp. (in Russian)
2. Zhamangulov T.Zh., Nurzhanov M.K., Kenzhebekov B.K. *Litologicheskie i strukturnye osobennosti sul'fatnykh mestorozhdenii Yuzhnogo Kazakhstana [Lithological and structural features of sulfate deposits in the south of Kazakhstan]*, *Vestnik KazNU. Geologicheskaya seriya [Bulletin of KazNU. Geology Series]*. 2017. No. 1 (63). 39–44 pp. (in Russian)
3. Dosmukhamedov Kh.T. *Usloviya formirovaniya gipsovykh mestorozhdenii v Yuzhnom Kazakhstane [Formation conditions of gypsum deposits in southern Kazakhstan]*, *Geologiya i nedropol'zovanie [Geology and Subsoil Use]*. 2008. No. 5. 22–26 pp. (in Russian)
4. Machel H.G. *Gypsum and anhydrite in the subsurface: applications to hydrocarbon exploration // AAPG Bulletin*. 2005. V. 89. No. 9. 1357–1381 pp. (in English)
5. Playa E., Rosell L. *Petrography and geochemistry of Triassic evaporites in Catalonia // Sedimentary Geology*. 2005. V. 174. No. 1–2. 113–135 pp. (in English)
6. Saparov A.S. *Stratigraficheskoe polozhenie i ekonomicheskaya tsennost' sul'fatnykh mineralov v aridnykh zonakh Kazakhstana [Stratigraphic position and economic value of sulfate minerals in arid zones of Kazakhstan]*, *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk [News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences]*. 2019. No. 3 (439). P. 73–80. (in Russian)
7. Turner B.R., Makhlouf I.M., Armstrong H.A. *Late Ordovician glacial and postglacial deposits, Jordan // Sedimentary Geology*. 2003. V. 160. 327–349 pp. (in English)
8. Zhubanov B.K., Sarsembayev D.M., Abilkairov R.K. *Razrabotka materialov na osnove gipsa v aridnykh regionakh Kazakhstana [Development of gypsum-based materials in arid regions of Kazakhstan]*, *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk [News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences]*. 2021. No. 4 (448). 78–85 pp. (in Russian)
9. Tayibi H., Choura M., Lopez F.A., Alguacil F.J., Lopez-Delgado A. *Environmental impact and management of synthetic gypsum from flue gas desulfurization: A review // Waste Management*. 2007. V. 27. No. 10. 1350–1359 pp. (in English)
10. GOST 125–79: *Gips i ангидрит для химической промышленности. Tekhnicheskie usloviya [Gypsum and anhydrite for chemical industry. Specifications]*. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1980. 8 p. (in Russian)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Абетов А.Е., Кудайбергенова С.С. *Қарачағанақ мұнай-газ-конденсат кен орнында суффозия және карст процестерін геологиялық-геофизикалық әдістермен кешенді зерттеу // ҚР ҰҒА Хабаршысы. Геология және техникалық ғылымдар сериясы*. 2021. № 2 (446). Б. 58–65 (орыс тілінде)
2. Жамангулов Т.Ж., Нуржанов М.К., Кенжебеков Б.К. *Оңтүстік Қазақстандағы сульфат кен орындарының литологиялық және құрылымдық ерекшеліктері // ҚазҰУ Хабаршысы. Геология сериясы*. 2017. № 1 (63). Б. 39–44 (орыс тілінде)
3. Досмұхамедов Х.Т. *Оңтүстік Қазақстандағы гипс кен орындарының түзілу шарттары // Геология және кен пайдалану*. 2008. № 5. Б. 22–26 (орыс тілінде)
4. Мачел Х.Г. *Жер асты гипсі мен ангидриті: көмірсутектерді іздеуге қолданылуы // AAPG Bulletin*. 2005. T. 89. № 9. Б. 1357–1381 (ағылшын тілінде)

5. Плайя Э., Роселль Л. Каталониядағы триас тұздарынан тұратын петрография және геохимия // *Sedimentary Geology*. 2005. Т. 174. № 1–2. Б. 113–135 (ағылшын тілінде)
6. Сапаров А.С. Қазақстанның құрғақ аймақтарындағы сульфат минералдарының стратиграфиялық орны және экономикалық маңызы // ҚР ҰҒА Хабаршысы. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2019. № 3 (439). Б. 73–80 (орыс тілінде)
7. Тернер Б.Р., Махлуф И.М., Армстронг Х.А. Иорданияның кейінгі ордовиктік мұздық және мұздықтан кейінгі шөгінділері // Шөгінді геология журналы. 2003. Т. 160. Б. 327–349 (ағылшын тілінде)
8. Жубанов Б.К., Сарсембаев Д.М., Абилкаиров Р.К. Қазақстанның құрғақ аймақтарында гипс негізіндегі материалдарды әзірлеу // ҚР ҰҒА Хабаршысы. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2021. № 4 (448). Б. 78–85 (орыс тілінде)
9. Шығарылған газдарды күкірттен тазарту нәтижесінде алынған синтетикалық гипстің қоршаған ортаға әсері және басқару: шолу / Тайиби Х. [және т. б.] // Қалдықтарды басқару журналы. 2007. Т. 27. № 10. Б. 1350–1359 (ағылшын тілінде)
10. ГОСТ 125–79: Химиялық өнеркәсіпке арналған гипс және ангидрит. Техникалық шарттар. М.: Стандарттар баспасы, 1980. 8 б. (орыс тілінде)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абетов А.Е., Кудайбергенова С.С. Интегрированное исследование процессов суффозии и карста на нефтегазоконденсатном месторождении Карачаганак геолого-геофизическими методами // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2021. № 2 (446). С. 58–65 (на русском языке)
2. Жамангулов Т.Ж., Нуржанов М.К., Кенжебеков Б.К. Литологические и структурные особенности сульфатных месторождений Южного Казахстана // Вестник КазНУ. Геологическая серия. 2017. № 1 (63). С. 39–44 (на русском языке)
3. Досмухамедов Х.Т. Условия формирования гипсовых месторождений в Южном Казахстане // Геология и недропользование. 2008. № 5. С. 22–26 (на русском языке)
4. Мачел Х.Г. Гипс и ангидрит в недрах: применение для поисков углеводородов // Бюллетень Американской ассоциации геологов-нефтяников. 2005. Т. 89. № 9. С. 1357–1381 (на английском языке)
5. Плайя Э., Роселль Л. Петрография и геохимия триасовых испаренных пород Каталонии // Осадочная геология. 2005. Т. 174. № 1–2. С. 113–135 (на английском языке)
6. Сапаров А.С. Стратиграфическое положение и экономическая ценность сульфатных минералов в аридных зонах Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2019. № 3 (439). С. 73–80 (на русском языке)
7. Тернер Б.Р., Махлуф И.М., Армстронг Х.А. Позднеордовикские ледниковые и послеледниковые отложения Иордании // Журнал осадочной геологии. 2003. Т. 160. С. 327–349 (на английском языке)
8. Жубанов Б.К., Сарсембаев Д.М., Абилкаиров Р.К. Разработка материалов на основе гипса в аридных регионах Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2021. № 4 (448). С. 78–85 (на русском языке)
9. Экологическое воздействие и управление синтетическим гипсом из десульфурации дымовых газов: обзор / Тайиби Х. [и др.] // Журнал управления отходами. 2007. Т. 27. № 10. С. 1350–1359 (на английском языке)
10. ГОСТ 125–79: Гипс и ангидрит для химической промышленности. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1980. 8 с. (на русском языке)

#### Information about the authors:

**Zhumagaziev A.**, Senior Lecturer, Department of Geography and Tourism, K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan), [arman\\_sebek@mail.ru](mailto:arman_sebek@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-8198-2661>

**Kurbaniyazov S.**, c.g.m.s., acting associate professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan), [saken.kurbaniyazov@ayu.edu.kz](mailto:saken.kurbaniyazov@ayu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0002-0875-2771>

**Damenova A.**, c.p.s., acting associate professor of the Department of History and Geography in Education, Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan), [Aigul\\_damenova@mail.ru](mailto:Aigul_damenova@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8140-8056>

**Beskempirova A.M.**, Senior Lecturer of the Department of History and Geography in Education, Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan), [Aygerim.beskempirova@mail.ru](mailto:Aygerim.beskempirova@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0000-9360-3465>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

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

**Даменова А.,** «Білім берудегі Тарих және география» кафедрасының доцентінің м. а., Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан)

**Бескемпірова Ә.М.,** «Білім берудегі Тарих және география» кафедрасының аға оқытушысы, Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан)

**Сведения об авторах:**

**Жұмағазиев А.,** ст. преподаватель кафедры «География и туризм» Атырауского государственного университета им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан)

**Қурбаниязов С.,** канд. геол.-минер. наук, и. о. доцента кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмета Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

**Даменова А.,** и. о. доцента кафедры «История и география в образовании», Таразский региональный университет им. Мухаммеда Хайдара Дулати (г. Тараз, Казахстан)

**Бескемпірова А.М.,** ст. преподаватель кафедры «История и география в образовании», Таразский региональный университет им. Мухаммеда Хайдара Дулати (г. Тараз, Казахстан)



# БЕЗОПАСНОСТЬ ТЭК

ФОРУМ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ  
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**12–13 МАРТА 2026**  
**МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОН 57**

ОРГАНИЗАТОР



**SFEXPO.RU**

Код МРНТИ 52.47.15

Р.Р. Ташменов, А.К. Орынбасаров, А.С. Садырбаева, \*М.К. Жантасов  
 М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан)

## БЕЙОРГАНИКАЛЫҚ РЕАГЕНТТЕРДІҢ БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІЛЕРІНІҢ ИНГИБИРЛЕУШІ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

**Аннотация.** Бұл жұмыста тұрақтылығын жоғалтқан сазды тау жыныстарында бұрғылау сұйықтықтарының ингибируші қасиеттеріне бейорганикалық реагенттердің әсерін зерттеу туралы мәліметтер берілген. Бұрғылау ерітінділері алғашында дисперстік жүйелер ретінде пайда болды, олардың қасиеттерін реттеу үшін түрлі химиялық реагенттер мен техникалық материалдар қолданылған. Қиындықтардың алдын алу және бейорганикалық реагенттердің көмегімен тұрақтылықты сақтау мәселесі қарастырылған. Тау жынысындағы әртүрлі иондардың әсер ету механизмі сипатталған. Ең жақсы ингибируші әсерін молярлық қатынасы 3,5 шамасына тең натрий силикаты көрсеткен. Аммоний, калий және цезий тұздарының су ерітінділерінің қатпарлы тақтатастың микро жарықшақтары арқылы ену жылдамдығы және олардың қасиеттерінің өзгеруі және бұзушы әрекеті натрий, магний және кальций тұздарының су ерітінділерімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары екені орнатылды.

**Түйінді сөздер:** ингибитор, бұрғылау ерітінділері, ингибируші қасиеттер, қиындықтар, әсер ету механизмі, сазды тау жыныстары.

### The effect of inorganic reagents on the inhibitory properties of drilling fluids

**Abstract.** The paper provides data on the study of the influence of inorganic reagents on the inhibiting properties of drilling fluids on clay rocks that have lost their stability. As you know, drilling fluids originally appeared as dispersed systems, various chemical reagents and technical materials were used to regulate their properties. The problem of preventing problems and maintaining stability with the help of inorganic reagents is considered. The mechanism of action of various ions in the rock is described. The best inhibitory effect was shown by sodium silicate with a molar ratio of about 3.5. It was established that the rate of penetration of aqueous solutions of ammonium, potassium and cesium salts through micro-cracks of layered shale and their decalcification and destructive action is significantly higher compared to aqueous solutions of sodium, magnesium and calcium salts.

**Key words:** inhibitor, drilling fluids, inhibiting properties, difficulties, mechanism of action, clay rocks.

### Влияние неорганических реагентов на ингибирующие свойства буровых растворов

**Аннотация.** В данной работе представлены данные по изучению влияния неорганических реагентов на ингибирующие свойства буровых жидкостей в глинистых породах, утративших устойчивость. Как известно, буровые растворы изначально появились как дисперсные системы, для регулирования их свойств использовались различные химические реагенты и технические материалы. Рассмотрена проблема предотвращения неприятностей и поддержания стабильности с помощью неорганических реагентов. Описан механизм действия различных ионов в породе. Лучший ингибирующий эффект продемонстрировал силикат натрия с молярным соотношением 3,5. Установлено, что скорость проникновения водных растворов солей аммония, калия и цезия через микротрещины слоистого сланца и их разломное и разрушающее действие значительно выше по сравнению с водными растворами солей натрия, магния и кальция.

**Ключевые слова:** ингибитор, буровые растворы, ингибирующие свойства, осложнения, механизм действия, глинистые породы.

### Кіріспе

Табиғи жағдайларда сазды тау жыныстары жан-жақты қысылу күйінде болады. Бұрғылау кезінде сазды қабатты ашқан соң, ұңғыманың контурында жергілікті күштік өріс қалыптасады, ол ұңғыма қабырғаларындағы тау жыныстарының әртүрлі деформацияларына әкеледі – тұтқыр пластикалық ағып кетуден морт сынғыштыққа дейін. Бұл деформациялардың сипаты мен қабырға тұрақтылығы тау жыныстарының қасиеттері мен тау-кен қысымының шекті көрініс формасына байланысты. Егер сазды жыныстардың тұрақтылығы ұңғыма қабырғаларындағы кернеу балансының бұзылуы, бұрғылау ерітіндісі ағынының тау жыныстарын шайып кетуі және т.б. себептерінен жоғалатын болса, онда олардың алдын алу үшін сәйкес бұрғылау ерітінділерінің түрлері қолданылады және арнайы іс-шаралар жүргізіледі [1, 2]. Мұндай жағдайларда қиындықтардың алдын алу және ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығын сақтау жинақталған практикалық тәжірибе арқылы қамтамасыз етіледі. Ал сазды тау жыныстардың тұрақтылығының жоғалуы, олардың бұрғылау ерітіндісімен физико-химиялық күрделі және көпқырлы өзара әрекеттесуі нәтижесінде болатын жағдайды алдын алу немесе жою әлдеқайда күрделі. Мұндай жағдайда негізінен ісінуді басатын ингибируші бұрғылау сұйықтықтары пайдаланылады. Саздардың ылғалдануы, ісінуі және дисперсиялану процестері – бұл тау жынысы бөлшектері арасындағы құрылымдық байланыстардың әлсіреуіне әкелетін (нәтижесінде олар созылып, деформация мен бұзылуға жағдай жасалады) негізгі факторлар болып табылады және саздардың тұрақтылығының жоғалуына себепкер [3].

### Материалдар мен әдістер

Ұңғыма оқпаны қабырғаларының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін сазды шөгінділерде қолданылатын бұрғылау ерітіндісін таңдау тау жыныстарының қасиеттері мен олардың ерітінді әсерінен өзгеруіне байланысты жүзеге асырылады. Сазды тау жыныстары үлгілерін зерттеу және бұрғылау ерітінділерінің оңтайлы құрамын анықтау әдістерінің көптігіне қарамастан, сазды шөгінділерде ұңғыманы бұрғылау барысында тау жыныстарының тұрақтылығының жоғалуы жиі орын алады. Ісінетін жұмсақ саздарды бұрғылау кезінде олар ісініп, көлемі ұлғайып, ұңғыма оқпанының тарылуына әкеледі. Саздардың ұңғыма қабырғаларында әрі қарай ылғалдануы нәтижесінде үлкен дымқыл тау жынысы кесектерінің құлауы немесе опырылуы және сальниктің пайда болуы (саңылаулардың жабылып қалуы) байқалады. Бұл өз кезегінде бұрғылау құрал-саймандарының қысылып қалуына, бұрғылау процесінің баяулауына және басқа да қиындықтарға алып келуі мүмкін. Статистикаға сәйкес, терең мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау көбінесе құрамында 70–75% терригендік жыныстар бар шөгінді қабаттар арқылы өтеді [4]. Тұрақсыз сазды тау жыныстарын, күрделі геологиялық-техникалық жағдайларда бұрғылау кезінде орын алатын қиындықтармен күресуге ұңғыманы салуға жұмсалатын күнтізбелік уақыттың 30% дейін кетеді.

Ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығын жоғалту оның пішіні мен өлшемдерінің өзгеруінен туындайды. Бұл әртүрлі қиындықтарға алып келеді – тау жынысы кесектерінің опырылуы, каверндер мен тарылулардың пайда болуы, саңылаулардың жабылып қалуы (сальник түзілуі), нәтижесінде бұрғылау құралдарының қысылып қалуы, ұзақ

кідірістер және т. б. Бұл жағдайлар көтеріп-түсіру жұмыстарын қиындатып, шегендеу тізбектерін ұңғыма түбіне дейін түсіруге кедергі келтіреді және цементтеу сапасының төмен болуына себеп болады [5]. Аталған қиындықтар ұңғыманың жалпы құнының айтарлықтай өсуіне әкелетінін атап өту керек. Халықаралық мұнай компанияларының бағалауынша, сазды тау жыныстары жатқан аралықтарда ұңғыма оқпанының тұрақтылығын жоғалтуға байланысты шығындар жылына 1 млрд АҚШ долларынан асады [6]. Осы айтылғандардың барлығы ғалымдар мен мамандардың ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығы мәселесін зерттеуге деген қызығушылығының артуын түсіндіреді. Сазды тау жыныстары, әсіресе, ісіну салдарынан туындайтын деформациялық қиындықтарға бейім. Бұл ең алдымен сазды тау жынысы мен бұрғылау ерітіндісінің физика-химиялық әрекеттесуінен пайда болады. Бұл әсерді азайту үшін ингибирленген бұрғылау ерітіндісінің түрін, құрамын және қасиеттерін дұрыс таңдау қажет. Осылайша, бұл мәселе қазіргі уақытта аса өзекті болып табылады.

### Нәтижелер және талқылау

Шетелдік және отандық тәжірибеде [7] сазды шөгінділердің тұрақтылығын бақылаудың маңыздылығы мойындалады. Мінсіз жағдайда су негізіндегі ингибирленген бұрғылау ерітіндісінің қасиеттері мұнай негізіндегі ерітінділердің қасиеттеріне ұқсас болуы тиіс. Алайда бұл қасиеттерді, тіпті зертханалық жағдайларда да, бағалау кейде қиынға соғады. Бүгінгі күні бұрғылау ерітіндісінің ингибирлеуші қабілеті сазды үлгінің бұзылуына кететін уақытпен және оның эрозия деңгейімен анықталады.

Белгілі болғандай, бұрғылау ерітінділері алғашында дисперстік жүйелер ретінде пайда болды, олардың қасиеттерін реттеу үшін түрлі химиялық реагенттер мен техникалық материалдар қолданылған. Ұңғымаларды бұрғылау кезінде бұрғылау ерітіндісімен түпті шаю технологиясы пайда болған сәттен бастап-ақ, ұңғыма қабырғаларын бекіту мәселесі туындады. Бұл мәселені шешудің алғашқы жолы бұрғылау ерітіндісінің құрамына әк қосуды ұсыну болды [8, 9].

Сумен әрекеттескен кезде қабырғалардың ісініп, құлап түсуін болдырмау үшін ұсынылған шешім – әктің ұңғыма қабырғаларымен әрекеттесіп, сол жерде берік цементті тас түзуі еді. Алайда, әкті бұрғылау ерітіндісін кеңінен қолдану барысында олардың қолдану технологиясында елеулі қиындықтар анықталды.

Бұрғылау тереңдігінің артуы және соған сәйкес түптік температуралардың артуы әк негізіндегі бұрғылау ерітінділерінің қолданылуына теріс әсер етті. Бұл ерітінділер бір жағынан – тұтқырлықты реттейтін коллоидтық сазға, екінші жағынан – жоғары температурада сазды инертті қатты фазаға айналдыратын әкке негізделген болатын.

Әк негізіндегі бұрғылау ерітінділерінің эволюциясындағы келесі кезең – әктің орнына  $KCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $Na_2SiO_3$ ,  $NaCl$  тұздарын қолданатын бұрғылау ерітінділерінің құрамын әзірлеу және өнеркәсіптік деңгейде пайдалану болды.

Мұнда  $KCl$ ,  $CaCl_2$  және  $NaCl$  әрекеттеріндегі терең ерекшеліктерге ерекше назар аудару қажет.  $CaCl_2$  және  $NaCl$  ерітінділерінде саздардың гидраттануы мен ісінуі

басылады, алайда бұл кезде тұрақтылық сақталмайды – үлгілер тұрақтылығын жоғалтып, бұзылады. Ал  $KCl$  ерітінділерінде тау жынысының бұзылу үрдісі әлсіз байқалады: үлгілерде ұсақ жарықтар мен аздаған қабыршақтану пайда болғанымен, жалпы алғанда олар өз тұрақтылығын сақтайды.

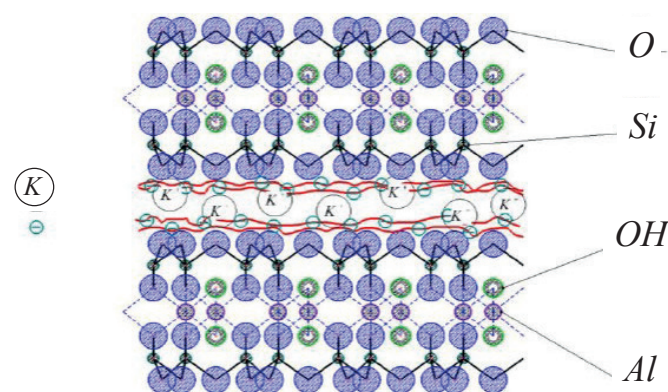
Бұл келесі факторлармен байланысты: гидратталмаған күйдегі калий ионының өлшемі 0,27 нм, ал гидратталған күйде – 0,76 нм. Калийдің гидратталу энергиясы – 77 ккал/моль. Салыстыру үшін, натрий ионының гидратталмаған өлшемі – 0,190 нм, гидратталғаны – 1,12 нм, ал гидратталу энергиясы – 97 ккал/моль. Монтмориллониттегі кеуектердің диаметрі шамамен 0,28 нм.

Су молекулалары диполь болып табылатындықтан, олардың теріс зарядталған бөліктері металл катиондарына тартылады, бұл олардың айналасында су қабығының түзілуіне әкеледі. Бұл су қабығының қалыңдығы ионның гидратталған өлшемімен сипатталады және ионның су молекулаларын қаншалықты берік ұстайтынын көрсетеді.

Гидратталу энергиясы төмен иондар айналасындағы су қабығы әлсіз ұсталып, оңай деформацияланады, ал гидратталу энергиясы жоғары иондар айналасындағы су қабығы берік болады және қиын бұзылады. Калий ионының гидратталу энергиясы салыстырмалы түрде төмен болғандықтан, оның айналасындағы су қабығы оңай деформацияланады. Осыған байланысты саз бөлшектерінің қабаттары катиондардың аз концентрациясында-ақ бір-біріне жақындайды.

Гидратталмаған калий ионы саз қабатындағы саңылауға тығыз орналасады, сондықтан ол судың өтуін баяулатуы мүмкін деп болжауға болады. Калий иондарының негізгі кеңістікке ену сызбасы 1 суретте көрсетілген.

Ал натрийдің гидратталмаған иондары калий иондарымен салыстырғанда кішірек болғандықтан, олар саздың қабатаралық кеңістігіне тығыз кіріге алмайды және сазды тау жынысының жиектерін соншалықты тиімді бекіте алмайды. Бұл туралы өндірістік және зертханалық зерттеулер де айғақтайды: бірдей мөлшерде қолданылғанда калий тұздары натрий тұздарына қарағанда саздың ісінуін тежеуде анағұрлым тиімді ингибитор болғаны анықталған [10].



Сурет 1. Тұздардың  $KCl$  ену механизмі.  
Figure 1.  $KCl$  penetration mechanism of salts.  
Рис. 1. Механизм проникновения солей  $KCl$ .

Натрий силикаты – суда еритін сирек силикат қосылыстарының бірі. Ол бірқатар бірегей химиялық қасиеттерге ие: буферлік қабілет, беткі зарядтарды өзгерту қасиеті, жылу және химиялық тұрақтылық, полимерлену мен тұтқырлықты реттеу мүмкіндігі.

Натрий силикатының маңызды артықшылығы – оны су негізіндегі бұрғылау ерітіндісінде сазды шөгінділерге қарсы ингибитор ретінде қолдануға болатындығы, себебі ол пайдалы қасиеттерге ие.

Атап айтқанда, силикат бөлшектерінің дисперстік ауқымы кең болғандықтан, оның минералды тау жыныстарына адсорбциялық әсері жоғары. Натрий силикаты сазды тау жыныстарындағы микротесіктер мен микрожарықтарды бітейді. Сонымен қатар, ол каротаж және геодезиялық зерттеулер жүргізуге кедергі келтірмейді. Силикаттар қоршаған ортаға шамалы әсер етеді және олардың құны төмен.

Силикатты бұрғылау ерітіндісі алғаш рет 1930 жылдары басқа су негізіндегі бұрғылау ерітінділерімен салыстырғанда ингибирлеу қабілеті жоғары болғандықтан қолданылды. Алайда, оның аққыштық шегінің жоғары болуы және реологиялық қасиеттерін реттеудегі қиындықтар бұл ерітіндінің қолданылуын шектеді.

1960 жылдары силикат құрамдарын сұйылтып, модулі 2,8–3,2 (яғни  $SiO_2 / Na_2O$  мольдік қатынасы) аралығында, концентрациясы 2–5% болатын қоспаларды карбоксиметилцеллюлоза негізіндегі бұрғылау ерітіндісіне қосу арқылы ерітіндінің термиялық тұрақтылығын арттыру мүмкіндігі ашылды. Бұл жаңалық силикат ерітінділерін зерттеудің жаңа толқынына себеп болды.

Сол зерттеулердің бірі [11] еңбекте авторлар силикат реагенттерінің әртүрлі мольдік қатынастағы қоспаларын қолдану арқылы бұрғылау ерітінділерінің ингибирлеуші әсерін зерттеген. Салыстырмалы ингибиторлар ретінде полигликоль (PL) және кремнийорганикалық гумин қышқылы қолданылған.

Ең жақсы ингибирлеуші әсерді мольдік қатынасы 3,5 болатын натрий силикаты көрсетті (2 суретте көрсетілген). Алайда, басқа ингибиторлар да жақсы нәтижелер көрсетті – олардың айырмашылығы шамамен 10% ғана болды.

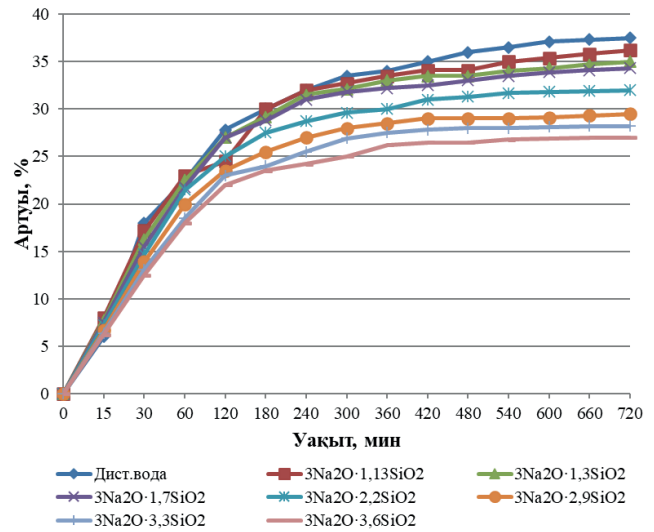
Силикаттардан бөлек, ингибиторлар ретінде әртүрлі электролиттер де қолданылады: натрий, калий, аммоний, магний, кальций және т.б. хлоридтері. Олардың кейбірі су молекулаларына реттеуші әсер етеді, ал басқалары – бұзушы әсер етеді.

Су молекулаларын реттейтін тұздар олардың құрылымын қамтамасыз етеді, бұл кезде су фазасының тұтқырлығы артады. Ал су молекулаларының ассоциациясын бұзатын тұздар жүйені ыдыратады, соның нәтижесінде су фазасының тұтқырлығы төмендейді.

Осылайша, аммоний, калий және цезий тұздарының су ерітінділері сланецтегі микрожарықтар арқылы тезірек еніп, жынысты жару және бұзу әсері натрий, магний және кальций тұздарының су ерітінділеріне қарағанда әлдеқайда күшті болады.

1 кестеде тұздардың концентрациясы су ерітінділерінің тұтқырлығына қалай әсер ететінін сипаттайтын нәтижелер келтірілген. Кестеден көрініп тұрған-

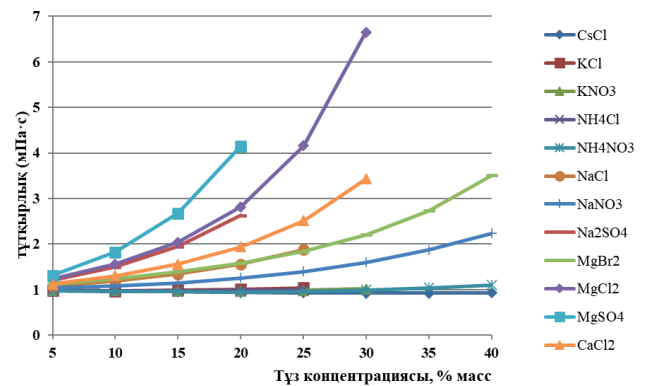
дай, су тұтқырлығын төмендететін тұздарға  $CaCl_2$ ,  $KCl$ ,  $KNO_3$ ,  $NH_4Cl$ ,  $NH_4NO_3$  жатады. Ал тұтқырлықты арттыратын тұздар қатарына  $NaCl$ ,  $NaNO_3$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $MgBr_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$  және  $CaCl_2$  жатады. Сонымен бірге, бірінші топтағы ең белсенді тұздар –  $CaCl_2$  және  $NH_4NO_3$ , ал екінші топта –  $NaNO_3$  және  $MgBr_2$  екені анықталды.



**Сурет 2. Натрий силикатының әртүрлі мольдік қатынастағы ингибирлеуші әсері кезінде сазды үлгінің сызықтық ұлғаю нәтижелері.**

**Figure 2. results of linear increase in the clay sample under the inhibitory effect of sodium silicate in different mole ratio.**

**Рис. 2. Результаты линейного увеличения глинистого образца при ингибирующем действии силиката натрия в различных молевых соотношениях.**



**Сурет 3. Тұздардың концентрациясының су ерітінділерінің тұтқырлығына әсері.**

**Figure 3. effect of the concentration of salts on the viscosity of aqueous solutions.**

**Рис. 3. Влияние концентрации солей на вязкость водных растворов.**

Барий мен кальций гидроксидтері бар жүйелерді қолданған кезде де ингибирлеуші әсерге қол жеткізуге болады. Бұл әсер саздың кристалдық торында түзілетін жаңа түзілістермен байланысты.

Кесте 1

Тұздардың концентрациясының су ерітінділерінің тұтқырлығына әсері

Table 1

Influence of the concentration of salts on the viscosity of aqueous solutions

Таблица 1

Влияние концентрации солей на вязкость водных растворов

Тұздар	Тұз концентрациясындағы тұтқырлық (МПа*с), % масс							
	5	10	15	20	25	30	35	40
Су тұтқырлығын төмендететін тұздар								
$C_5Cl$	0,983	0,968	0,952	0,939	0,928	0,922	0,924	0,930
$KCl$	0,988	0,986	0,992	1,011	1,041	-	-	-
$KNO_3$	0,988	0,977	0,965	0,968	0,983	1,015	-	-
$NH_4Cl$	0,981	0,970	0,970	0,983	1,006	-	-	-
$NH_4NO_3$	0,972	0,954	0,954	0,948	0,963	0,992	1,036	1,098
Су тұтқырлығын арттыратын тұздар								
$NaCl$	1,081	1,188	1,339	1,555	1,879	-	-	-
$NaNO_3$	1,027	1,076	1,150	1,255	1,399	1,599	1,870	2,238
$Na_2SO_4$	1,081	1,499	1,945	2,631	-	-	-	-
$MgBr_2$	1,081	1,244	1,396	1,584	1,840	2,202	2,729	3,507
$MgCl_2$	1,081	1,244	2,041	2,818	4,160	6,160	-	-
$MgSO_4$	1,081	1,824	2,680	4,151	-	-	-	-
$CaCl_2$	1,081	1,302	1,559	1,936	2,511	3,427	-	-

**Қорытынды**

Осылайша, сазды шөгінділерде орналасқан ұңғыма қабырғаларының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін бұрғылау ерітіндісін таңдау тау жынысы қасиеттеріне және олардың ерітіндімен әрекеттесу нәтижесінде өзгеруіне байланысты жүзеге асырылады.

Осы жұмыста тек бейорганикалық реагенттердің бұрғылау ерітінділерінің ингибирлеуші қасиеттеріне әсері қарастырылды, бұл зерттеу нысанының қаншалықты күрделі екенін көрсетеді және болашақ зерттеу бағыттарын айқындайды. Мысалы, болашақта органикалық реагенттердің ингибирлеуші қасиеттерге әсерін зерттеу – келесі маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Бұл ретте

зарядталған және зарядталмаған полимерлер арқылы ингибиторлық әсерлерді зерттеуге болады.

Бейорганикалық және органикалық реагенттер негізіндегі жүйелерді бірлесіп қолдану – тиімді және оң нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

**АЛҒЫС**

Бұл зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің жобаны орындау шеңберінде орындалды (АР26195345 «Бұрғылау ерітінділері үшін өсімдік майларының гудрондары негізіндегі ұйыттылығы төмен кешенді мақсаттағы реагенттерді алу»).

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Сазды тау жыныстарының тұрақтылығы туралы мәселеге / Хуббатов А.А. [және т. б.] // Мұнайгаз аумағы. 2014. № 5. Б. 22–32 (орыс тілінде)
2. Ұңғымаларды бұрғылау кезінде сазды тау жыныстарының тұрақтылығы / Гайдаров М.М.Р. [және т. б.] // Құрлықта және теңізде мұнай және газ ұңғымаларының құрылысы. И.М. Губкин атындағы Мұнай және газ РМУ. 2013. № 7. Б. 20–30 (орыс тілінде)
3. Күрделі жағдайларда ұңғымаларды бұрғылауға арналған қалдықтарға негізделген бұрғылау ерітінділері / Ерменов С.М. [және т. б.] // «ҚазТБҰ Хабаршысы» ғылыми журналы. 2024. № 4 (25). Б. 316–328 (қазақ тілінде)
4. Шарафутдинов З.З. Бұрғылау және тампонаж ерітінділері. Теория және практика: СПб.: Кәсіби, 2007. 416 б. (орыс тілінде)
5. Бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін төмендетуге арналған жеңілдетілген полимерлі құрам / Бимбетова Г.Ж. [және т. б.] // «ҚазТБҰ Хабаршысы» ғылыми журналы. 2025. №1 (22). Б. 481–491 (қазақ тілінде)
6. Макгилл С.Б. Жаңа энергетикалық технологиялар. АҚШ Энергетика министрлігі, 2006, 11 ақпан (ағылшын тілінде)
7. Ченг Фа Лу. Полимерлі бұрғылау ерітіндісінің қатысуымен тақтатастардың тұрақтылығын бағалаудың жаңа әдісі // СПЕ Продакшн Инжиниринг. 1988. Т.3. № 3. Б. 366–374 (ағылшын тілінде)

8. Мұнай және газ ұңғымаларды бұрғылау үшін қолданылатын бұрғылау ерітінділерінің биологиялық диагностикасы / Надирова Ж.К. [және т. б.] // «ҚазТБУ Хабаршысы» ғылыми журналы. 2025. № 1 (26). Б. 573–580 (орыс тілінде)
9. Аскарлов Р.Ф. Форматтық негізде гипс-әк бұрғылау ерітіндісін қолданудың практикалық тәжірибесі (ГИБР-3) // «Бұрғылау және мұнай» журналы. 2024. № 6. Б. 34–35 (орыс тілінде)
10. Л. Сони. Селективті сіңіру және катиондарды минералдармен бекіту: шолу // Клаус және саз минералдары. 1972. Шығ. 20. Б. 93–100 (ағылшын тілінде)
11. Монтмориллонит ерітіндісі мен суспензиясында натрий клау силикатының коллоидтық қасиеттері және ингибируленуі / Хуан У. [және т. б.] // Силиком. 2016. № 8. Б. 111–122 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. K voprosu ob ustojchivosti glinistykh porod [On the issue of stability of clay rocks], A.A. Hubbatov [et al.], *Territoriya neftegaz [Neftegaz territory]*. 2014. No. 5. 22–32 pp. (in Russian)
2. Ustojchivost' glinistykh porod pri burenii skvazhin [Stability of clay rocks during drilling], Gajdarov M.M.R. [et al.], *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more. RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina [Construction of oil and gas wells on land and at sea. Gubkin Russian State University of Oil and Gas]*. 2013. No. 7. 20–30 pp. (in Russian)
3. Waste-based drilling fluids for drilling wells in difficult conditions / Yermenov S.M. [et al.] // *KazUTB Bulletin*. 2025. No. 4 (25). 316–328 pp. (in Kazakh)
4. Sharafutdinov Z.Z. Burovye i tamponazhnye rastvory. *Teoriya i praktika [Drilling and grouting solutions. Theory and practice]*. St. Petersburg: Professional, 2007. 416 p. (in Russian)
5. Polymer composition to reduce the absorption of drilling mud / Besbaeva N.A. [et al.] // *KazUTB Bulletin*. 2025. No. 1 (22). 481–491 pp. (in Kazakh)
6. McGill C.B. *Emerging Energy Technology. USSB, 2006 February 11* (in English)
7. Cheng Fa Lu. A new technique for evaluation of shale stability in the presence of polymeric drilling fluid // *SPE Production Engineering*. 1988. V. 3. No. 3. 366–374 pp. (in English)
8. Biologicheskaya diagnostika burovyykh rastvorov, primenyaemykh dlya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin [Biological diagnostics of drilling fluids used for drilling oil and gas wells], Nadirova Zh.K. [et al.], *Nauchnyy zhurnal «Vestnik KazUTB» [KazUTB Bulletin]*. 2025. No. 1 (26). 573–580 pp. (in Russian)
9. Askarov R.F. *Prakticheskij opyt primeneniya gipsoizvestkovogo burovogo rastvora na formiatnoj osnove (GIBR-3) [Practical experience in the use of gypsum-lime drilling mud on a formate basis (GIBR-3)]*, *Burenie i nef't' [Drilling and Oil]*. 2024. No. 6. 34–35 (in Russian)
10. Sawney L. *Selective sorption and fixation of cations by minerals: a review* // *Claus and Clay Minerals*. 1972. V. 20. 93–100 pp. (in English)
11. *Colloidal properties and clay inhibition of sodium silicate in solution and montmorillonite suspension* / Huang W. [et al.]. // *Silicom*. 2016. No. 8. 111–122 pp. (in English)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. К вопросу об устойчивости глинистых пород / Хуббатов А.А. [и др.] // *Территория нефтегаз*. 2014. № 5. С. 22–32 (на русском языке)
2. Устойчивость глинистых пород при бурении скважин / Гайдаров М.М.Р. [и др.] // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина*. 2013. № 7. С. 20–30 (на русском языке)
3. Буровые растворы на основе отходов для бурения скважин в осложненных условиях / Ерменов С.М. [и др.] // *Вестник КазУТБ*. 2024. № 4 (25). С. 316–328 (на казахском языке)
4. Шарафутдинов З.З. Буровые и тампонажные растворы. Теория и практика: СПб.: Профессионал, 2007. 416 с. (на русском языке)
5. Полимерный состав для снижения поглощения бурового раствора / Бимбетова Г.Ж. [и др.] // *Вестник КазУТБ*. 2025. № 1 (22). С. 481–491 (на казахском языке)
6. Макгилл С.Б. Новые энергетические технологии. Министерство энергетики США, 2006, 11 февраля (на английском языке)
7. Ченг Фа Лу. Новая методика оценки стабильности сланцев в присутствии полимерного бурового раствора // *СПЕ Продакшн Инжиниринг*. 1988. Т. 3. № 3. С. 366–374 (на английском языке)
8. Биологическая диагностика буровых растворов, применяемых для бурения нефтяных и газовых скважин / Надирова Ж.К. [и др.] // *Вестник КазУТБ*. 2025. № 1 (26). С. 573–580 (на русском языке)
9. Аскарлов Р.Ф. Практический опыт применения гипсоизвесткового бурового раствора на форматной основе (ГИБР-3) // *Бурение и нефть*. 2024. № 6. С. 34–35 (на русском языке)

10. Сони Л. Селективная сорбция и фиксация катионов минералами: обзор // Клаус и глинистые минералы. 1972. Вып. 20. С. 93–100 (на английском языке)
11. Коллоидные свойства и ингибирование клау силиката натрия в растворе и суспензии монтмориллонита / Хуан У. [и др.] // Силиком. 2016. № 8. С. 111–122 (на английском языке)

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Таишенов Р.Р.**, Ph.D докторант, «Мұнайгаз ісі» кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), [a.k.zatybekov@mail.ru](mailto:a.k.zatybekov@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0008-4922-823X>

**Орынбасаров А.К.**, х.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), [Ilars@list.ru](mailto:Ilars@list.ru); <https://orcid.org/0009-0007-9953-0755>

**Садырбаева А.С.**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), [a.sadyrbaeva@mail.ru](mailto:a.sadyrbaeva@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6819-388X>

**Жантасов М.К.**, т.ғ.к., профессор, «Мұнайгаз ісі» кафедрасының меңгерушісі, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КеАҚ (Шымкент қ., Қазақстан), [manapjk80@mail.ru](mailto:manapjk80@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5633-1640>

**Information about the authors:**

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

**Orynbasarov A.K.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department «Oil and gas business», Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

**Sadyrbaeva A.S.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department «Oil and gas business», Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

**Zhantassov M.K.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Oil and gas business», Non-profit joint-stock company «M. Auezov South Kazakhstan University» (Shymkent, Kazakhstan)

**Сведения об авторах:**

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

**Орынбасаров А.К.**, к.х.н., ассоциированный профессор, профессор кафедры «Нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)

**Садырбаева А.С.**, к.т.н., ассоциированный профессор, профессор кафедры «Нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)

**Жантасов М.К.**, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова» (г. Шымкент, Казахстан)

# CENTRAL ASIA PLAST WORLD

## 17-18-19 МАРТА | 2026

200+ участников из 20+ стран

**Национальные стенды:**



Австрия



Германия



Италия



Турция



Китай

18-я Международная Выставка  
Индустрии Пластмасс,  
Полимеров и Каучука

IN COOPERATION WITH



MEMBER OF



Получить пропуск



+7 (707) 611 81 04

КАЗАХСТАН, АЛМАТЫ, ВЦ АТАКЕНТ



info@plastworld.kz



plastworld.kz



www.plastworld.kz

# 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 87.23.91

\*А.А. Исмаилова<sup>1</sup>, Н. Жалгасулы<sup>1</sup>, Н. Уайсулы<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан),

<sup>2</sup>Алматинский метрополитен (г. Алматы, Казахстан)

## ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Аннотация.** Антропогенное воздействие на природу нарушает приобретенную в процессе эволюции способность к ее саморегулированию. Видимые искусственные изменения в природной среде приводят к коренным изменениям связей в экосистемах. Горнодобывающее предприятие непременно нарушает экоравновесие в регионе и в частности наиболее раннюю подземную гидросистему. В результате обнажений рудных тел под воздействием кислорода воздуха и атмосферных осадков интенсивно развиваются окислительные процессы. Образовавшиеся вследствие окисления легко растворимые соединения с ливневыми и паводковыми водами попадают в подземные и поверхностные источники, загрязняя их. Приводятся результаты исследований по реабилитации пластовых вод после подземного скважинного выщелачивания металлов с использованием природных сорбентов (бурый уголь, гумат натрия, бентонитовая глина и шунгитосодержащие алюмосиликаты).

**Ключевые слова:** руда, пластовые воды, обезвреживание, бурый уголь, гумат натрия, бентонитовая глина, шунгиты.

### Кен өндіруде жерасты суын залалсыздандыру

**Аңдатпа.** Кен алуа антропогендік әсер ету жерасты суының табиғи тазарту процесін күрделендіреді. Тау-кен өндіру кәсіпорны аймақтағы экологиялық тепе-теңдікті, атап айтқанда, ең осал жерасты гидрожүйесінің бүлінугіне әкеп соғады. Кен денелеріне әсер ету нәтижесінде атмосфералық оттегі мен жауын-шашынның әсерінен тотығу процестері қарқынды дамиды. Тотығу нәтижесінде түзіліп оңай еритін қосылыстар жаңбыр және тасқын сулары бар жерасты және жерүсті көздеріне араласып, оларды ластайды. Дегенмен, біздің зерттеуіміз микроорганизмдердің элементтердің кен денелерінен ерітінділерге өтуіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Табиғи сорбенттер (қоңыр көмір, натрий гуматы, бентонит сазы және құрамында шунгит бар алюмосиликаттар) арқылы металдарды жер асты ұңғымаларын шаймалаудан кейін қабат суларын қалпына келтіру бойынша зерттеулердің нәтижелері берілген.

**Түйінді сөздер:** кен, қабат сулары, бейтараптандыру, қоңыр көмір, натрий гуматы, бентонит сазы, шунгит.

### Neutralization of groundwater during mining operations

**Abstract.** Anthropogenic impact on nature disrupts its ability to self-regulate acquired in the process of evolution. Visible artificial changes in the natural environment lead to fundamental changes in the connections in ecosystems. A mining enterprise inevitably disrupts the ecological balance in the region and, in particular, the most vulnerable underground hydrosystem. As a result of exposure of ore bodies, under the influence of atmospheric oxygen and precipitation, oxidation processes develop intensively. Easily soluble compounds formed as a result of oxidation enter underground and surface sources with rain and flood waters, polluting them. The article presents the results of studies on the rehabilitation of formation waters after underground borehole leaching of metals using natural sorbents (brown coal, sodium humate, bentonite clay and shungite-containing aluminosilicates).

**Key words:** ores, formation waters, neutralization, brown coal, sodium humate, bentonite clay, shungites.

### Введение

Под воздействием различного рода оксидов металлов в результате физико-химического взаимодействия формируются сложный анионно-катионный состав, концентрация тяжелых металлов и превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК) для вод, используемых в питьевых и хозяйственных целях. Накапливается значительное количество сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов железа, алюминия, нитратов, радионуклидов и других микроэлементов. Попадание опасных компонентов в подземные воды хозяйственно-питьевого назначения может привести к серьезным экологическим последствиям.

Вследствие снижения величины pH за счет выпадающих в осадок растворенных элементов, где главными являются гидроксиды железа и алюминия, формируется так называемый кольматационный барьер. На этом барьере за счет уменьшения порового пространства значительно снижается фильтрационная способность водоносного горизонта [1].

Снижение фильтрационных свойств за счет образования комплекса вышеназванных барьеров приводит к тому, что естественный фильтрационный поток, имея слишком малые скорости движения, не может разрушить сформированный замкнутый контур и обтекает заключенную в нем линзу техногенных растворов по периферии.

Реабилитация подземных вод является одной из главных задач, особенно эта проблема актуальна тогда, когда водоносный горизонт служит объектом водопользования. Производственный опыт, например, подземного скважинного выщелачивания металлов показывает, что возможна естественная реабилитация пластовых вод. При этом снижение минерализации остаточных растворов происходит

вследствие гидравлической дисперсии, молекулярной диффузии, физико-химических реакций взаимодействия с вмещающими породами, а также механической сорбции и простого ионного обмена. Однако, как показывает опыт, естественная деминерализация пластовых вод протекает медленно. Для полного восстановления исходных параметров требуется 15–20 лет. Когда существует необходимость реабилитации качества подземных вод в кратчайшие сроки, то необходимо прибегать к искусственным методам очистки, которые, в свою очередь, можно разделить на две группы.

*Первая группа* предусматривает извлечение остаточных растворов из недр и их очистку от вредных веществ на поверхности. При этом используется весь арсенал методов химической технологии – сорбция на ионообменных смолах, экстракция, электродиализ, флотация и вымораживание, концентрирование выпариванием и многие другие.

Эти методы чрезвычайно дорогостоящи, утилизация отдельных ценных компонентов не компенсирует всех затрат. При этом на поверхности накапливаются значительные массы не утилизируемых вредных веществ [2].

*Вторая группа* методов ориентирована на нейтрализацию растворов непосредственно в недрах. Здесь используются следующие приемы: вытеснение остаточных растворов сжатым воздухом в окружающие породы и электрохимические методы очистки *in situ*; нейтрализация растворов на месте залегания содой; восстановление металлов растворами сульфата натрия; микробиологические методы очистки путем внедрения рудоносных горизонтов культивированной на поверхности естественной микрофлоры; перекачку остаточных растворов из рудоносного горизонта на нижележащие горизонты с высокой нейтра-

лизующей восстановительной способностью литологической среды и др. Все эти технологии, к сожалению, сложно реализуемы, требуют значительных затрат.

Более ускоренной реабилитацией пластовых вод является использование различных сорбентов, способствующих сорбировать химические соединения и металлы, которыми обладают также природные минералы и горные породы. Здесь рассматривается возможность очистки остаточных растворов после техногенного химического воздействия на пластовые воды путем введения природных сорбентов непосредственно в водоносный горизонт.

### Основные методы исследований

Для исследования использовали бурый уголь, шунгит-содержащие алюмосиликатные сланцы и бентонитовую глину. Бурый уголь использовали в природном виде, а также подвергнутый пиролизу (прокаливанию без доступа воздуха в течение 1 часа при температуре 600–650 °С) для удаления летучих веществ и серы. Исследования проводили на модельных растворах, содержащих сульфат железа, сульфат меди и сульфат цинка.

Были подготовлены растворы (мг/л) с различной концентрацией компонентов: раствор (мг/л):

№ 1 – Fe – 250; Cu – 250; Zn 250;  $\sum SO_4$  – 2124;

№ 2 – Fe – 1000; Cu – 1000; Zn – 1000;  $\sum SO_4$  – 8500.

Эксперименты проводили в две стадии. На первой стадии использовали модельный раствор с концентрацией металлов 250 мг/л, на второй – раствор с концентрацией 1000 мг/л.

Эксперименты проводили в статическом режиме и температура среды при экспериментах поддерживалась в пределах 25–30 °С, поскольку такой режим наблюдается и в производственных условиях.

Соотношение Т:Ж при экспериментах было принято равным 1:2. Время сорбции в экспериментах составляло 3, 6, 12, 18 и 24 часа при перемешивании. Раствор с сорбентом периодически перемешивали. По окончании заданного времени сорбции жидкую фазу отфильтровывали под вакуумом и проводили ее химический анализ.

### Результаты исследований и их обсуждение

При этом необходимо отметить, что рекультивация подземных вод в широких промышленных масштабах ни в Казахстане, ни в странах ближнего и дальнего зарубежья не производилась. Осуществлены многочисленные исследования на уровне опытных и опытно-промышленных работ в республиках СНГ (Узбекистан, Казахстан, Украина) и в США [3].

Ниже приводится краткое описание основных способов и результатов их применения для реабилитации подземных вод при выщелачивании полезных ископаемых.

1. Способ промывки недр. Применительно к сернокислотному методу ПСВ способ промывки прошел исследования в лабораторных условиях и частично проверялся в опытно-промышленном порядке на месторождении Уванас в Казахстане.

2. Вытеснение остаточных растворов сжатым воздухом. Способ проходил проверку также на опытном участке месторождения Уванас. Опытный блок был круговой

формы с радиусом 50 м, мощность продуктивного горизонта около 10 м, активная пористость 0,2, общая минерализация остаточных растворов 23 г/л. Закачка воздуха производилась в 6 скважин с общим средним расходом 600÷700 м<sup>3</sup>/час, откачка остаточных растворов – из трех скважин, расположенных в центре участка с суммарным средним дебитом 6÷8 м<sup>3</sup>/час. В процессе опыта велся контроль над расходом воздуха по нагнетательным скважинам, дебитам растворов, уровнем подземных вод и положением границы раздела воздух-раствор в контуре опытного участка.

В течение 150 суток нагнетания воздуха одновременно было откачено около 10 тыс. м<sup>3</sup> остаточных растворов, что составило более 85% порового объема участка. Концентрация урана в них в 8÷10 раз превысила начальную его концентрацию в остаточных растворах. Дебит откачных скважин в процессе опыта практически вдвое превышал дебит этих скважин в обычных условиях. По положению границы раздела воздух-вода можно было заключить, что вытеснение жидкости шло довольно равномерно по всему внутреннему контуру опытного участка. Ход опыта показал, что в данных геолого-гидрогеологических условиях возможно извлечение за один цикл вытеснения до 90% остаточных растворов. Можно также отметить снижение стоимости данного способа в связи с получением дополнительного количества урана.

Из второй группы способов рекультивации горизонтов применительно к ПСВ нитрат велись разработки очистки растворов на поверхности с применением технологии реагентного осаждения и в недрах на основе использования электросорбции [4–5].

3. Способ реагентной очистки остаточных растворов на поверхности предусматривает сооружение комплекса химических производств по реагентному осаждению компонентов загрязненных вод. При одном из химических методов – известковании происходит очистка растворов от ионов железа, алюминия и группы ионов, способных осаждаться с соответствующими гидроокислами. Минерализация раствора после известкования снижается до 2÷6 г/л и в основном определяется наличием в растворе сульфата кальция.

Изменение состава растворов после химической подготовки и после электродиализной переработки. Результаты экспериментов при концентрации тяжелых металлов в растворе 250 мг/л, соотношение Т:Ж = 1:2 приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, железо, медь и цинк при концентрации их в растворе 250 мг/л и соотношении Т:Ж = 1:2 практически полностью сорбируются из раствора бурым углем, подвергнутым пиролизу и бентонитовой глиной. Бурый уголь в природном виде поглощает металлы несколько хуже. Наименьшие показатели сорбции металлов из раствора наблюдаются при сорбции шунгитсодержащими алюмосиликатными сланцами. Это можно объяснить низким содержанием в породе минерала шунгита, который, как известно из литературных источников, обладает хорошими сорбционными свойствами (содержание углерода в породе составляет всего 5–8%).

*Состав растворов после химической предподготовки*  
*Химиялық алдынала және электродиализді өңдеулерден кейінгі түрі*  
*Composition of solutions after chemical pre-treatment*

*Таблица 1*  
*Кесте 1*  
*Table 1*

Определяемый компонент	Остаточный серно-кислый раствор, мг/л	Раствор после химической обработки, мг/л	Дилуат (электродиализ), мг/л
Калий	160	150	1,46÷5,8
Натрий	860	3500	135÷465
Кальций	452	440	1,6÷3,2
Магний	700,8	655	Н.о
Железо общее	568,1	Н.о	Н.о
Аммоний	37,5	35,7	Н.о
Алюминий	729	Н.о	Н.о
Сульфат	10560	9360	120,6÷577,7
Хлорид	307,9	183	10,0÷18,4
Нитрат	650	590	9,4÷27,0
pH	2,25	10,5	9,25÷9,9
Общая минерализация	15025	14914	278÷1100

Переработка образующейся при известковании суспензии осуществляется флотацией, так как процесс сгущения в данных условиях неэффективен вследствие плохого уплотнения гидроокислов. Твердые отходы, полученные после вакуум-фильтрации, подлежат захоронению, поскольку содержат радиоактивные компоненты.

4. Технология очистки остаточных растворов в недрах с применением электросорбции предусматривает создание в толще продуктивного горизонта электрического поля с помощью электродов. При этом положительно заряженный электрод (анод) также через скважину (или систему скважин для нескольких анодов) вводят в глины, а катод в отработанную рудную залежь [6–7].

В работе Садуакасовой А.Т. [8] рассмотрены физико-химические закономерности процесса сорбции металлов из водных растворов и характеристики неорганических и органических сорбентов для извлечения урана из водных растворов. Недостатками органических сорбентов является их дороговизна.

По результатам литературного обзора в качестве сорбентов, использованных в работе, обоснованно выбраны природные шунгит и цеолит с учетом их дешевизны в сравнении с органическими сорбентами и больших запасов шунгита и цеолита в их месторождениях.

По результатам экспериментов определяли степень очистки раствора от каждого компонента и сорбционную емкость сорбентов по различным компонентам растворов и суммарную сорбционную емкость. Величину степени очистки определяли по выражению:

$$\varepsilon = \frac{a_{исх}^i - a_{кон}^i}{a_{исх}^i} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $a^i$  – исходная концентрация компонента в растворе, мг/л;

$a_{кон}^i$  – конечная концентрация i-го компонента в растворе,  $м^3$ .

Сорбционную емкость определяли по выражению:

$$N = \frac{(a_{исх}^i - a_{кон}^i) \cdot V_i}{Q}, \quad м^3, \quad (2)$$

где  $V$  – объем раствора,  $м^3$ ;

$Q$  – масса сорбента, г.

При пиролизе же бурого угля сера удаляется вместе с другими летучими веществами. Поскольку первая серия опытов показала низкую эффективность сорбции компонентов раствора шунгитсодержащими алюмосиликатными сланцами, а бурый уголь в природном виде не освобождает раствор от сульфат-иона, во второй серии эксперименты проводились только с бурым углем, подвергнутым пиролизу, и с бентонитовой глиной.

Результаты серии экспериментов при концентрации металлов в растворе 1000 мг/л приведены в таблице 3.

Как видно из графиков, бурый уголь, подвергнутый пиролизу, и бентонитовая глина при такой концентрации металлов в растворе хорошо поглощают как металлы, так и сульфат-ион.

Эффективность очистки вод природными сорбентами зависит от их сорбционной емкости. Характеристика сорбционной емкости бурого угля, подвергнутого пиролизу, и бентонитовой глины приведена на графиках рис. 1 и 2.

Сравнительная суммарная сорбционная емкость пиролизованного бурого угля и бентонитовой глины в зависимости от времени сорбции показана на графике 3.

Как видно из графиков, суммарная сорбционная емкость бурого угля, подвергнутого пиролизу, и бентонитовой глины практически одинаковы.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что природные сорбенты такие, как бурый уголь, подвергнутый пиролизу, и бентонитовая глина могут быть использованы для реабилитации пластовых вод, подвергшихся техногенному воздействию путем их введения непосредственно в водоносный пласт. При этом природный сорбент

Таблица 2

*Изменение концентрации ионов в растворе в зависимости от времени сорбции при концентрации металлов в растворе 250 мг/м<sup>3</sup>*

Кесте 2

*250 мг/м<sup>3</sup> ерітіндідегі металл концентрациясында сорбция уақытына байланысты ерітіндідегі иондар концентрациясының өзгеруі*

Table 2

*Change in the concentration of ions in the solution depending on the sorption time at a metal concentration in the solution of 250 mg/m<sup>3</sup>*

Вид сорбента, соотношение Т:Ж	Время сорбции, час	Содержание ионов в растворе, мг/л			
		<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	$\Sigma SO_4$
Исходный бурый уголь, 1:2	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	24,6	21,5	20,0	2760,0
	6	15,2	17,9	18,9	2850,0
	12	12,7	17,5	18,1	2775
	18	11,8	16,8	17,9	2682
	24	10,0	1,67	17,6	2555,0
Пиролизированный бурый уголь, 1:2	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	< 0,01	< 0,01	< 0,01	851,0
	6	< 0,01	< 0,01	< 0,01	753,0
	12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	730,0
	18	< 0,01	< 0,01	< 0,01	715,0
	24	< 0,01	< 0,01	< 0,01	702,0
Шунгитсодержащие алюмосиликатные сланцы, 1:2	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	124,0	124,0	150,0	1379,0
	6	123,5	123,5	170,0	1285,0
	12	135	162,0	162,0	1340,0
	18	142,0	140,0	177,0	1380,0
	24	151,0	151,0	182,0	1406,0
Бentonитовая глина, 1:10	0	250,0	250,0	250,0	2124,0
	3	0,15	0,15	0,15	744,0
	6	< 0,01	< 0,01	< 0,01	679,0
	12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	638,0
	18	< 0,01	< 0,01	< 0,01	638,0
	24	< 0,01	< 0,01	< 0,01	638,0

Таблица 3

*Изменение концентрации ионов в растворе в зависимости от времени сорбции при концентрации металлов в растворе 1000 мг/л*

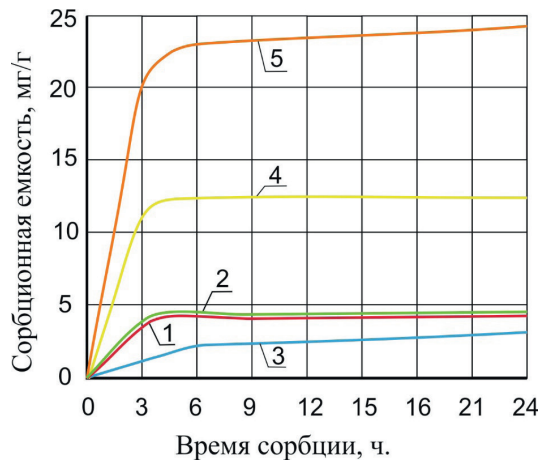
Кесте 3

*1000 мг/л ерітіндідегі металл концентрациясында сорбция уақытына байланысты ерітіндідегі иондар концентрациясының өзгеруі*

Table 3

*Change in the concentration of ions in the solution depending on the sorption time at a metal concentration in the solution of 1000 mg/l*

Вид сорбента, соотношение Т:Ж	Время сорбции, час	Содержание ионов в растворе, мг/л			
		<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	$\Sigma SO_4$
Пиролизированный бурый уголь, 1:2	0	1000,0	1000,0	1000,0	850,0
	3	185,18	106,50	750,0	5900,0
	6	120,61	42,0	515,0	5660,0
	12	106,32	32,1	465,0	5469,0
	18	94,05	22,4	405,0	5638,0
	24	80,41	11,50	340,0	5630,0
Бentonитовая глина, 1:2	0	1000,0	1000,0	1000,0	850,0
	3	330,0	375,0	410,0	5637,0
	6	310,0	345,0	380	5495,0
	12	300,0	330,0	352,0	5440,0
	18	295,0	315,0	343,0	5385,0
	24	290,0	306,0	328,0	5331,80



**Рис. 1. Влияние времени сорбции на суммарную сорбционную емкость природных сорбентов.**

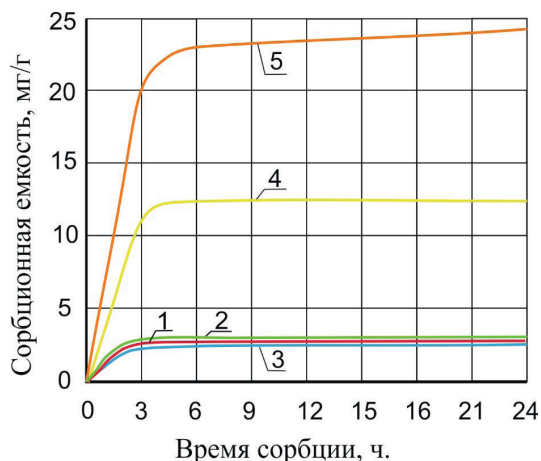
1 – железо; 2 – медь; 3 – цинк; 4 – сульфат-ион;  
5 – суммарная сорбционная емкость.

**Сурет 1. Табиғи сорбенттердің жалпы сорбциялық қабілетіне сорбция уақытының әсері.**

1 – темір; 2 – мыс; 3 – мырыш; 4 – сульфатты ион;  
5 – жалпы сорбциялық сыйымдылық.

**Figure 1. Effect of sorption time on the total sorption capacity of natural sorbents.**

1 – iron; 2 – copper; 3 – zinc; 4 – sulfate ion; 5 – total sorption capacity.



**Рис. 2. Влияние времени сорбции на суммарную сорбционную емкость бентонитовой глины при концентрации металлов в растворах 1000 мг/л.**

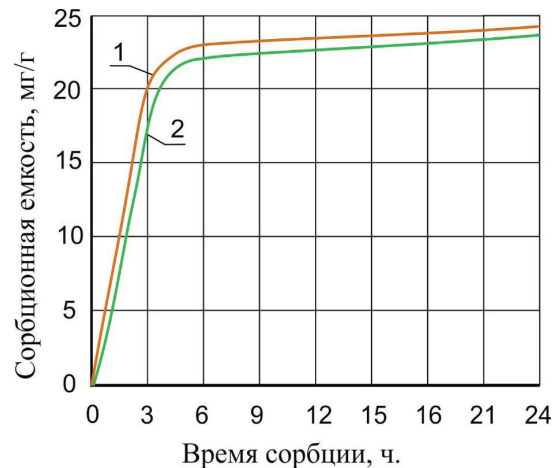
1 – железо; 2 – медь; 3 – цинк; 4 – сульфат-ион;  
5 – суммарная сорбционная емкость.

**Сурет 2. 1000 мг/л ерітінділердегі металл концентрациясында бентонит сазының жалпы сорбциялық қабілетіне сорбция уақытының әсері.**

1 – темір; 2 – мыс; 3 – мырыш; 4 – сульфатты ион;  
5 – жалпы сорбциялық сыйымдылық.

**Figure 2. Effect of sorption time on the total sorption capacity of bentonite clay at a metal concentration in solutions of 1000 mg/l.**

1 – iron; 2 – copper; 3 – zinc; 4 – sulfate ion; 5 – total sorption capacity.



**Рис. 3. Влияние времени сорбции на суммарную сорбционную емкость природных сорбентов.**

1 – бурый уголь, подвергнутый пиролизу;  
2 – бентонитовая глина.

**Сурет 3. Табиғи сорбенттердің жалпы сорбциялық қабілетіне сорбция уақытының әсері.**

1 – пиролизге ұшыраған қоңыр көмір; 2 – бентонит сазы.

**Figure 3. Effect of sorption time on the total sorption capacity of natural sorbents.**

1 – brown coal subjected to pyrolysis; 2 – bentonite clay.

необходимо диспергировать до гранулометрического состава, позволяющего его частицам свободно продвигаться по фильтрационным каналам водоносного пласта.

Сущность реабилитации пластовых вод заключается в поглощении содержащихся в остаточных растворах вредных компонентов природными сорбентами и доведении концентрации этих компонентов до величины ее в пластовых водах до начала техногенного воздействия или до концентрации, равной ПДК для питьевой воды.

Количество природного сорбента, необходимого для очистки 1 л остаточного раствора, можно определить по выражению:

$$q_{n.c.} = \frac{\sum C_{ост.} - \sum C_{пдк.}}{N} z, \quad (3)$$

где  $\sum C_{ост.}$  – суммарная концентрация вредных компонентов в остаточном растворе, мг/л;

$\sum C_{пдк.}$  – суммарная концентрация вредных компонентов согласно ПДК для питьевой воды, мг/л;

$N$  – максимальная сорбционная емкость природного сорбента, мг/г.

Рассмотрим пример. Общая минерализация остаточных растворов достигает после техногенного воздействия 30000 мг/л. Суммарная минерализация природных вод достигает 1000 мг/л. Допустимая общая минерализация по ПДК для питьевой воды также составляет 1000 мг/л.

Таким образом, общее количество вредных компонентов, которые необходимо удалить из остаточных растворов, достигает 29000 мг/л. Чтобы поглотить содержащиеся в остаточных растворах вредные компоненты, в отработанный блок следует ввести необходимое количество сорбента.

Как показано выше, сорбционная емкость по сумме компонентов достигает 24,13 мг/л для бентонитовой глины и 24,16 мг/л для бурого угля, подвергнутого пиролизу.

Для поглощения содержащихся в 1 л остаточного раствора 29000 мг вредных компонентов необходимо ввести 1208,3 г сорбента.

При величине удельного веса бентонитовой глины 2,0–2,2 объем сорбента на 1 литр остаточного раствора составит 0,5–0,6 см. Следовательно, 40–50% порового пространства пласта останется свободными для фильтрации пластовых вод.

Результаты исследований, приведенные в таблице 2, подтвердили наши предположения. Как видно из таблицы, степень очистки воды от ионов тяжелых металлов достигает 95% [9–10]. Взаимодействия ионов-примесей с гуматом натрия приведены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Кинетика процесса взаимодействия ионов-примесей с гуматом натрия**

**Кесте 4**

**Қоспа иондарының натрий гуматымен әрекеттесу процесінің кинетикасы**

**Table 4**

**Kinetics of the interaction process of impurity ions with sodium humate**

Продолжительность контакта, мин.	Концентрация примесей в воде, мг/л		Степень очистки воды, % от тяжелых металлов
	Cu	Zn	
0	5,2	6,5	-
10	2,75	3,4	47,0
20	1,87	2,34	63,5
30	0,64	0,79	87,7
60	0,37	0,45	92,8
90	0,33	0,3	95,5

Из представленных в таблице данных следует, что гумат-натрия может быть использован для очистки воды от ионов тяжелых металлов. Склонность к анионному обмену и снижению pH растворов не проявляет. Преимущество перед исследованными сорбентами гумата-натрия заключается в том, что этот реагент не требует специальной подготовки, а именно измельчения активации.

Определение количества вредных компонентов в остаточных растворах и количества природных сорбентов, необходимого для деминерализации пластовых вод и анализ полученных результатов приводят к следующим выводам и рекомендациям:

- гранулометрический состав любого сорбента не должен превышать пределов 100–25 мкм, что обуславливается размером каналов фильтрации подстилающих пород;

- поскольку за счет механоактивации повышается реакционная и сорбционная способность, то количество сорбента может быть значительно снижено. При этом снижается вязкость суспензии, облегчается процесс продвижения их по магистрали к насосу и далее в пласт.

Учитывая вышесказанное, при подготовке природных сорбентов к введению в пласт в виде суспензии нами исследован процесс измельчения и определена зависимость гранулометрического состава от времени измельчения; проведен подбор оптимального соотношения Т:Ж для получения устойчивой суспензии; исследована активность измельченного сорбента.

Проведенные исследования по очистке от тяжелых металлов показал, что природные материалы, такие как бентонитовая глина и бурый уголь могут быть применены для очистки пластовых вод после завершения добычи урана способом ПСВ.

### Заключение

Перспективным способом реабилитации остаточных растворов после подземного скважинного выщелачивания является использование природных сорбентов, вводимых в зону распространения остаточных растворов.

Из исследованных природных сорбентов для очистки остаточных растворов после ПСВ наиболее пригодны бурый уголь, подвергнутый пиролизу и бентонитовая глина. По суммарной сорбционной емкости они практически равноценны (24,13–24,16 мг/г).

### Выводы

1. Исследованы сорбционные свойства ранее не исследованных органоминеральных пород месторождений Казахстана, бурых углей, бентонитовых глин, сланцевых углеродосодержащих алюмосиликатов.

2. Оценены химические и сорбционные свойства окисленного бурого угля месторождения Киякты, который склонен к сорбции тяжелых металлов, но не очищает воду от сульфат-ионов, что объясняется его химическим составом.

3. Бентонитовая глина месторождения Шукуррой обладает высокими сорбционными свойствами как по отношению к катионам, так и к анионам и обеспечивает очистку воды от примесей до 95%.

4. Оценены сорбционные свойства сланцевых углеродосодержащих алюмосиликатов. Установлено, что сорбционная емкость этого сорбента не велика и обеспечивает степень очистки воды до 40–70%.

5. Исследованы условия активации ископаемого угля. Установлено, при термообработке угля при температуре 500–600 °C его активность увеличивается, что позволяет очистить воду от примесей до 98–99 %, в том числе и от сульфат-ионов.

6. Установлено, что гумат натрия, выделенный из бурого угля, проявляет высокую химическую активность, вступает в реакции с ионами тяжелых металлов, образует прочные комплексные металлоорганические соединения. Образование коагулянтов с анионами-примесями приводит к снижению концентрации их в воде и степень очистки достигает до 100%.

Выполненные эксперименты позволяют сделать вывод, что наиболее эффективными природными сорбентами из исследованных являются бурый уголь, подвергнутый пиролизу, и бентонитовая глина, а бурый уголь в природном виде не поглощает сульфат-ион, а шунгитсодержащие алюмосиликатные сланцы имеют низкую сорбционную способность.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Нуркеев С.С., Мусина У.Ш. Экология: Алматы, 2005. 489 с. (на русском языке)
2. Жалгасулы Н. Экологическое воздействие горно-обогатительных предприятий Казахстана на окружающую природную среду // Геология и разведка недр Казахстана. 1999. № 1. С. 59–68 (на русском языке)
3. Подземное выщелачивание полиэлементных руд. Под ред. Н.П. Лаверова. М.: Академия горных наук, 1998. 446 с. (на русском языке)
4. Косиченко Ю.М., Сильченко В.Ф. Технологии удаления сероводорода в процессе обработки подземных вод // Экология и водное хозяйство. 2020. № 1 (04). С. 43–59 (на русском языке)
5. Очистка сточных вод нефтегазовой отрасли: современные практики и перспектив / Сунита Варьяни [и др.] // Устойчивые промышленные и экологические биопроецессы. 2020. Т. 27. С. 27172–27180 (на английском языке)
6. Мелидис Р. Удаление фтора из сточных вод алюминиевой отделки с помощью гидроксипатита // Environ Process. 2015. Т. 2. С. 205–213 (на английском языке)
7. Забазнов В.Л. Всесторонняя оценка и сравнение сернокислотного и карбонатного ПВ // Тезисы докл. II медународной конференции по актуальным проблемам урановой промышленности, Алматы, 2002. С. 238 (на русском языке)
8. Садуакасова А.Т. Сорбционная технология извлечения урана из техногенного и гидроминерального сырья с применением природных модифицированных сорбентов: дисс. на соиск. степени докт. филос., Усть-Каменогорск, 2017. 161 с. (на русском языке)
9. Жалгасулы Н. Исследование свойств природных сорбентов для очистки пластовых вод // Наука и новые технологии. 2013. № 5. С. 68–70 (на русском языке)
10. Переработка угля с низкой степенью метаморфизма / Жалгасулы Н. [и др.] // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16. № 2 (60). С. 453–469 (на английском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Нуркеев С.С., Мусина У.Ш. Экология: Алматы, 2005. 489 б. (орыс тілінде)
2. Жалгасулы Н. Қазақстанның тау-кен байыту кәсіпорындарының қоршаған ортаға экологиялық әсері // Қазақстанның минералдық ресурстарының геологиясы және барлауы. 1999. № 1. Б. 59–68 (орыс тілінде)
3. Полиэлементтік кендерді жерасты шаймалау. Өңдеген Н.П. Лаверов. М.: Тау-кен ғылымдары академиясы, 1998. 446 б. (орыс тілінде)
4. Косиченко Ю.М., Сильченко В.Ф. Жер асты суларын тазарту кезінде күкіртсутекті жою технологиялары // Экология және су шаруашылығы. 2020. № 1 (04). Б. 43–59 (орыс тілінде)
5. Мұнай мен газдың ағынды суларын тазарту: ағымдағы тәжірибелер мен перспективалар / Сунита Варьяни [және т. б.] // Тұрақты өнеркәсіптік және экологиялық биопроецестер. 2020. Т. 27. Б. 27172–27180 (ағылшын тілінде)
6. Melidis R. Гидроксипатит көмегімен алюминийден жасалған ағынды сулардан фторидтерді жою // Environ Process. 2015. Т. 2. Б. 205–213 (ағылшын тілінде)
7. Забазнов В.Л. Күкірт қышқылы мен карбонатты ПВ кешенді бағалау және салыстыру. Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері бойынша II Халықаралық конференция баяндамасының тезистері, Алматы, 2002. Б. 238 (орыс тілінде)
8. Садуақасова А.Т. Табиғи модификацияланған сорбенттерді қолдану арқылы техногендік және гидроминералды шикізаттан уран алудың сорбциялық технологиясы: дисс. философия докторы дәрежесін алу үшін, Өскемен, 2017. 161 б. (орыс тілінде)
9. Жалгасулы Н. Қабат суларын тазартуға арналған табиғи сорбенттердің қасиеттерін зерттеу // Ғылым және жаңа технологиялар. 2013. № 5. Б. 68–70 (орыс тілінде)
10. Метаморфизмнің төмен дәрежесі бар көмірді өңдеу / Жалгасулы Н. [және т. б.] // Таулы аумақтардың тұрақты дамуы. 2024. Т. 16. № 2 (60). Б. 453–469 (ағылшын тілінде)

**REFERENCES**

1. Nurkeev S.S., Musina U.Sh. Ekologiya [Ecology]: Almaty, 2005. 489 p. (in Russian)
2. Zhalgasuly N. Ekologicheskoe vozdeistvie gorno-obogatitel'nykh predpriyatii Kazakhstana na okruzhayushchuyu prirodnyuyu sredu [Ecological impact of mining and processing enterprises of Kazakhstan on the environment], Geologiya i razvedka neдр Kazakhstana [Geology and exploration of mineral resources of Kazakhstan]. 1999. No. 1. 59–68 pp. (in Russian)
3. Podzemnoe vyshchelachivanie polielementnykh rud. Pod red. N.P. Laverova [Underground leaching of polyelement ores. Edited by N.P. Laverov]. Moscow: Akademiya gornyykh nauk, 1998. 446 p. (in Russian)

4. Kosichenko Yu.M., Silchenko V.F. *Tekhnologii udaleniya serovodoroda v protsesse obrabotki podzemnykh vod [Technologies for removing hydrogen sulfide during groundwater treatment], Ekologiya i vodnoe khozyaistvo [Ecology and water management]. 2020. No. 1 (04). 43–59 pp. (in Russian)*
5. *Oil and Gas Wastewater Treatment: Current Practices and Prospects / Sunita Waryani [et al.] // Sustainable Industrial and Environmental Bioprocesses. 2020. V. 27. 27172–27180 pp. (in English)*
6. Melidis P. *Fluoride removal from aluminium finishing wastewater by hydroxyapatite // Environ Process. 2015. V. 2. 205–213 pp. (in English)*
7. Zabaznov V.L. *Vsestoronnyaya otsenka i sravnenie sernokislотного i karbonatного PV [Comprehensive assessment and comparison of sulfuric acid and carbonate PV], Tezisy dokl. II medunarodnoi konferentsii po aktual'nyim problemam uranovoi promyshlennosti [Abstracts of the report. II International Conference on Actual Problems of the Uranium Industry], Almaty, 2002. 238 p. (in Russian)*
8. Saduakasova A.T. *Sorbtsionnaya tekhnologiya izvlecheniya urana iz tekhnogenogo i gidromineral'nogo syr'ya s primeneniem prirodnykh modifitsirovannykh sorbentov: diss. na soisk. stepeni dokt. filos. [Sorption technology for extracting uranium from technogenic and hydromineral raw materials using natural modified sorbents, diss. for the degree of Doctor of Philosophy], Ust-Kamenogorsk, 2017. 161 p. (in Russian)*
9. Zhalgasuly N. *Issledovanie svoystv prirodnykh sorbentov dlya ochistki plastovykh vod [Study of the properties of natural sorbents for purification of formation waters], Nauka i novye tekhnologii [Science and new technologies]. 2013. No. 5. 68–70 pp. (in Russian)*
10. *Coal processing with a low degree of metamorphism / Zhalgasuly N. [et al.] // Sustainable Development of Mountain Territories. 2024. V. 16. No. 2 (60). 453–469 pp. (in English)*

#### Сведения о авторах:

**Жалгасулы Н.**, д.т.н., зав. отделом «Экология и безопасность горных работ», профессор, академик Международной академии «Экология», Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан), [zhalgasuly39@mail.ru](mailto:zhalgasuly39@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7550-9782>

**Исмаилова А.А.**, Ph.D, зав. лаб. «Экология и рациональное освоение недр», СНС, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан), [ismailova@inbox.ru](mailto:ismailova@inbox.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5705-3363>

**Уайсулы Н.**, инженер, начальник станции, Алматинский метрополитен (г. Алматы, Казахстан), [nurasil87@mail.ru](mailto:nurasil87@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-1978-3821>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Жалгасулы Н.Ж.**, Д.А. Қонаев атындағы Кен істері институтының «Кен істер қауіпсіздігі мен экология» бөлімінің меңгерушісі, т.ғ. д., проф. (Алматы қ., Қазақстан)

**Исмаилова А.А.**, Ph.D, зертхана меңгерушісі «Экология және жер қойнауын ұтымды дамыту», ҒКК, Д.А. Қонаев атындағы тау-кен институты (Алматы қ., Қазақстан)

**Уайсулы Н.**, Алматы метросы, инженер, станция бастығы (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Zhalgasuly N.Zh.**, Professor, Head of the Department «Ecology and Safety of Mining» of the D.A. Kunaev Institute of Mining, Doctor of Technical Sciences (Almaty, Kazakhstan)

**Ismailova A.A.**, Ph.D, Head of the Lab. «Ecology and Rational Development of Subsoil», SSC, D.A. Kunaev Mining Institute (Almaty, Kazakhstan)

**Uaysuly N.**, Almaty metro, engineer, station manager (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 87.21.09

\*Д.К. Сунакбаева, Д.Х. Юлдашбек

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави  
(г. Туркестан, Казахстан)

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ В ГОРНО-ДОЛИННЫХ РАЙОНАХ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ДОЛИН УРАНГАЙ И АЩЫСАЙ)

**Аннотация.** В работе представлены результаты полевых и лабораторных исследований засоления почв горно-долинных районов Туркестанской области на примере долин Урангай и Ащысай. Установлено, что уровень электропроводности (ЕС) существенно варьирует в зависимости от рельефа и гидрологических условий. Весной фиксируются минимальные значения ЕС из-за промывочного действия осадков, летом – повышение концентрации солей вследствие испарения и ирригации, осенью – частичное снижение из-за вымывания. Пространственный анализ выявил мозаичное распределение солей: максимальное засоление характерно для понижений и зон оросительных каналов. По химическому составу солевые комплексы относятся к сульфатно-хлоридному типу с преобладанием ионов  $Na^+$  и  $Mg^{2+}$ . Результаты подтверждают влияние природных и техногенных факторов на формирование солевого режима почв долин Урангай и Ащысай.

**Ключевые слова:** засоление почв, электропроводность, геоэкология, горно-долинные территории, техногенные факторы, Туркестанская область.

### Түркістан облысының таулы-шалғыр аудандарында топырақтың тұздануын геоэкологиялық бағалау (Орангай және Ащысай аңғарлары мысалында)

**Аннотация.** Жұмыста Түркістан облысының таулы-ұңғымалы аймақтарындағы Урангай және Ащысай аңғарларындағы топырақ тұздануын зерттеу нәтижелері ұсынылды. Топырақтардың электрөткізгіштік (ЕС) деңгейі рельеф пен гидрологиялық жағдайларға қарай айтарлықтай өзгереді. Көктемде жауын-шашынның жұғыш әсерінен ЕС минималды, жазда булану мен суару салдарынан тұз концентрациясы артады, ал күзде жоғарғы қабаттың шайылуына байланысты едәуір төмендейді. Кеністіктік талдау тұздардың мозаикалық таралуын көрсетті: ең жоғары тұздану төмен жерлерде және суару каналдарының маңында анықталды. Химиялық құрам бойынша тұздар сульфат-хлоридтік типке жатады,  $Na^+$  және  $Mg^{2+}$  иондары басым. Нәтижелер Урангай мен Ащысай аңғарларындағы топырақ тұздану режиміне табиғи және техногендік факторлардың ықпалын дәлелдейді.

**Түйінді сөздер:** топырақ тұздануы, электрөткізгіштік, геоэкология, таулы-ұңғымалы аудандар, техногендік факторлар, Түркістан облысы.

### Geocological assessment of soil salinization in the mountain-valley areas of the Turkestan region (a case study of the Urangai and Ashysay valleys)

**Abstract.** The study presents field and laboratory data on soil salinization in the mountain-valley zones of the Turkestan region, using the Urangai and Ashysay valleys as examples. Electrical conductivity (EC) varies markedly with topography and hydrological conditions: spring shows minimum values due to precipitation leaching, summer brings increased salt concentrations from evaporation and irrigation, and autumn shows a partial decline. Spatial analysis indicates a mosaic salinity pattern, with maximum levels in depressions and near irrigation canals. Chemically, salts correspond to the sulfate-chloride type dominated by  $Na^+$  and  $Mg^{2+}$  ions. The findings confirm that both natural and anthropogenic factors shape the salinity regime of these valleys.

**Key words:** soil salinization, electrical conductivity, geocology, mountain-valley landscapes, anthropogenic factors, Turkestan region.

### Введение

Устойчивое природопользование в условиях горных и предгорных регионов является одной из ключевых задач современного геоэкологического развития. Эти территории отличаются высокой природной уязвимостью, сложной структурой рельефа, интенсивными гидрогеологическими процессами и ограниченными земельными ресурсами. Одним из наиболее значимых факторов деградации земель выступает засоление почв, возникающее в результате использования минерализованных оросительных вод, подъема засоленных грунтовых вод и последствий техногенного воздействия [1].

По своим масштабам и последствиям засоление почв сопоставимо с другими глобальными проблемами, такими как эрозия и опустынивание. По данным международных организаций, значительная часть орошаемых земель в мире, особенно в аридных и семиаридных регионах, подвержена вторичному засолению [2]. Центральная Азия рассматривается как один из наиболее уязвимых регионов: в Туркменистане и Узбекистане 40–60% орошаемых земель имеют различную степень засоления или заболачивания, а в Казахстане около 20% площадей находятся в зоне риска деградации [3, 4]. Это подчеркивает необходимость разработки интегрированных экологических подходов к управлению солеобразовательными процессами, поскольку их последствия напрямую влияют на устойчи-

вость экосистем, качество водных ресурсов и жизнеспособность природно-хозяйственных систем [5].

В качестве объектов исследования выбраны долины Урангай и Ащысай Туркестанской области, представляющие типичные горно-долинные экосистемы региона с различной глубиной залегания грунтовых вод и интенсивностью ирригации.

Международный опыт показывает, что длительная эксплуатация ирригационных систем без эффективной дренажной инфраструктуры приводит к широкомасштабной деградации почвенного покрова – подобные явления зафиксированы в Индии, Китае и Иране [6–8]. В то же время успешные примеры отмечены в странах Средиземноморья и Австралии, где внедрение адаптивных технологий водопользования и экологического мониторинга позволило существенно снизить риск вторичного засоления.

В горных и предгорных районах Туркестанской области и сопредельных государств данная проблема имеет специфический характер. Ограниченные ресурсы пресной воды, высокая испаряемость и сложный рельеф усиливают развитие деградационных процессов. В отличие от равнинных территорий, где доминируют техногенные причины засоления, в горных системах значительную роль играют природно-климатические и гидрогеологические факторы. Это требует выработки особых геоэкологических подходов, сочетающих методы инженерной защиты, рациональ-

ного водопользования и ландшафтно-экологического планирования.

*Цель исследования* – оценка пространственных особенностей засоления почв и выявление геоэкологических факторов, определяющих формирование солевого режима в долинах Урангай и Ащысай Туркестанской области.

Таким образом, проблема засоления почв в горных и предгорных регионах выходит за рамки локальной задачи и становится частью глобальной повестки устойчивого природопользования. Ее решение требует междисциплинарного подхода, объединяющего методы геоэкологии, гидрологии, инженерной мелиорации и мониторинга состояния окружающей среды.

### Материалы и методы

Исследование проводилось на территории долин Урангай и Ащысай Туркестанской области, где в условиях засушливого климата и сложного горного рельефа развиваются процессы вторичного засоления почв. Работы выполнялись на репрезентативных участках, различающихся по глубине залегания грунтовых вод, гидрогеологическим условиям и типу ирригации.

#### Отбор проб и схема наблюдений

Полевые исследования проводились в течение трех фаз вегетационного периода весной (до начала поливов), летом (в пик водоподачи) и осенью (после завершения поливов), что позволило оценить сезонные изменения засоления. Почвенные пробы отбирались на глубинах 0–20 см, 20–40 см и 40–60 см, соответствующих основным горизонтам корнеобитаемой зоны. На каждом участке выполнялись не менее трех повторностей, обеспечивающих статистическую достоверность данных. Параллельно фиксировались глубина залегания и минерализация грунтовых вод по данным гидрогеологической сети региона и полевых измерений.

#### Лабораторные исследования.

Определялись следующие показатели:

- общая солевая концентрация (TDS) методом электропроводности;
- содержание хлоридов, сульфатов и карбонатов натрия, кальция и магния титриметрическим и ионообменным методами;
- рН и электропроводность (ЕС) водной вытяжки (1:5);
- гранулометрический состав по методу Качинского;
- содержание органического вещества по методу Вальке-Блэка.

*Расчет экологического коэффициента засоления (E).*

Для интегральной оценки степени засоления использовался экологический коэффициент  $E$ , характеризующий совокупное воздействие солей на почвенно-растительный покров:

$$E = \frac{C_{Cl-} + C_{SO_4^{2-}} + C_{CO_3^{2-}} + C_{HCO_3^{-}}}{ЕС}$$

где  $C_{Cl-}$ ;  $C_{SO_4^{2-}}$ ;  $C_{CO_3^{2-}}$ ;  $C_{HCO_3^{-}}$  – концентрации соответствующих ионов (ммоль/л);

$ЕС$  – электропроводность раствора, дС/м.

Значения коэффициента  $E$  позволяли классифицировать степень засоления почв:

- $E < 0,5$  – незасоленные почвы,
- $0,5 \leq E < 1,0$  – слабозасоленные,
- $1,0 \leq E < 2,0$  – средnezасоленные,
- $E \geq 2,0$  – сильнозасоленные.

*Геоинформационный и статистический анализ.* Для пространственно-временной оценки и визуализации динамики засоления применялись ГИС-технологии (ArcGIS 10.8 и QGIS 3.22). Построенные цифровые карты отразили распределение солей по профилю и сезонам. Статистическая обработка данных включала описательную статистику, корреляционный анализ и анализ главных компонент (PCA) с использованием MS Excel, SPSS и R.

*Оценка устойчивости землепользования* включала следующие направления:

- Агротехнические меры: оптимизация севооборотов, уменьшение глубины обработки почвы, выращивание солеустойчивых культур (люцерна, ячмень, кормовые травы).
- Рациональное водопользование: усовершенствование схем ирригации, контроль норм полива, реконструкция дренажных сетей.
- Биологические и инженерно-мелиоративные решения: использование фитомелиорантов (например, солянка, гребенщик, саксаул), внедрение систем биодренажа и микробиологических препаратов для восстановления структуры почвы.
- Социально-экологические аспекты: активное участие местных землепользователей, интеграция традиционных знаний, вовлечение сообществ в мониторинг состояния земель.

### Результаты и обсуждение

Анализ почвенных проб, отобранных в долинах Урангай и Ащысай Туркестанской области, показал существенные различия по уровням солевого насыщения в зависимости от рельефа и глубины залегания грунтовых вод. Значения электропроводности (ЕС) варьировали от 0,3 до 4,5 дС/м, отражая диапазон от незасоленных до сильнозасоленных почв. Наибольшие значения ЕС фиксировались в пониженных участках рельефа и вблизи оросительных каналов, что свидетельствует о накоплении солей в локальных водосборных депрессиях.

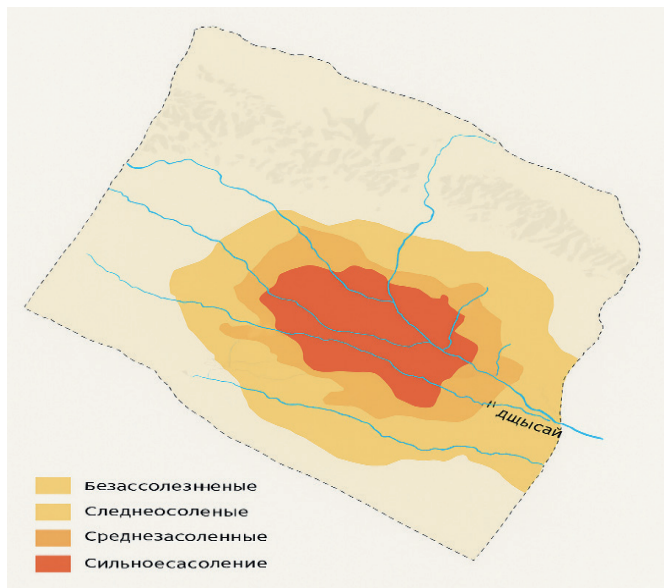
**Таблица 1**  
*Динамика электропроводности (ЕС) почв по сезонам в долинах Урангай и Ащысай*

**Кесте 1**  
*Ораңгай және Ащысай аңғарларындағы топырақтың маусымдық электр өткізгіштік (ЕС) динамикасы*

**Table 1**  
*Seasonal dynamics of soil electrical conductivity (ЕС) in the Urangay and Ashysay valleys*

Сезон	Среднее значение ЕС, дС/м	Характеристика засоления
Весна	2,1	Слабозасоленные
Лето	4,3	Средnezасоленные
Осень	3,0	Слабое – среднее засоление

Как видно из таблицы 1, максимальные значения электропроводности фиксировались в летний период, что подтверждает влияние испарительных процессов и накопления солей в пахотном слое. Пространственный анализ (рис. 1) показывает, что наиболее засоленные участки сосредоточены в понижениях рельефа, вдоль русел временных водотоков и оросительных каналов. На склонах и возвышенных участках уровень ЕС, как правило, ниже, что связано с лучшим дренированием почвенного профиля.



**Рис. 1. Пространственное распределение засоленных почв в долинах Урангай и Ащысай Туркестанской области.**  
**Сурет 1. Түркістан облысының Ораңгай және Ащысай аңғарларындағы тұзданған топырақтардың кеңістіктік таралуы.**  
**Figure 1. Spatial distribution of saline soils in the Urangay and Ashysai valleys of the Turkistan Region.**

Полученные результаты пространственно-сезонного анализа послужили основой для дальнейшего изучения химического состава солевых комплексов и выявления особенностей ионного состава засоленных почв.

#### Химический состав солевых комплексов

Анализ ионного состава водных вытяжек показал, что засоление исследуемых почв имеет преимущественно сульфатно-хлоридный характер с преобладанием ионов натрия ( $Na^+$ ) и магния ( $Mg^{2+}$ ). В отдельных пробах, отобранных в понижениях рельефа, отмечено увеличение содержания хлоридов ( $Cl^-$ ), что связано с застойными водно-солевыми условиями и слабым дренированием (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, во все сезоны наблюдается преобладание сульфат- и хлорид-ионов, что подтверждает смешанный сульфатно-хлоридный тип засоления. Наибольшие концентрации всех основных ионов отмечены летом, когда испарение усиливает аккумуляцию легкорастворимых солей в верхних горизонтах. Осенью их содержание снижается вследствие частичного вымывания при осадках и уменьшения интенсивности испарения.

Сезонные колебания концентраций ионов соответствовали общей динамике электропроводности: весной наблюдалось наименьшее общее солесодержание, летом происходило накопление  $Na^+$  и  $Cl^-$  вследствие испарительного концентрирования, а осенью фиксировалось частичное снижение содержания растворимых солей.

Проведенные полевые и лабораторные исследования позволили установить выраженную сезонную и пространственную изменчивость засоления почв долин Урангай и Ащысай. Весной уровень электропроводности (ЕС) был минимальным вследствие промывочного действия осадков, летом наблюдалось увеличение концентрации солей в результате активного испарения и орошения, а осенью происходило частичное вымывание солей из верхнего горизонта.

Пространственный анализ показал, что наиболее засоленные участки приурочены к понижениям рельефа и зонам оросительных каналов, где происходит аккумуляция легкорастворимых солей. На склонах и водоразделах уровень ЕС ниже, что связано с лучшей дренированностью почвенного профиля.

Исследование химического состава солевых комплексов выявило сульфатно-хлоридный тип засоления с преобладанием ионов  $Na^+$  и  $Mg^{2+}$ . Наибольшие концентрации солей отмечались в летний период, что указывает на влия-

Таблица 2

Среднее содержание основных ионов в засоленных почвах долин Урангай и Ащысай

Кесте 2

Ораңгай және Ащысай аңғарларындағы тұзданған топырақтардағы негізгі иондардың орташа мөлшері

Table 2

Average content of major ions in salt-affected soils of the Urangay and Ashysay valleys

Ион	Весна, ммоль/100 г	Лето, ммоль/100 г	Осень, ммоль/100 г	Среднее значение	Преобладающая форма
$Na^+$	1,8	4,6	2,9	3,1	$Na_2SO_4, NaCl$
$Ca^{2+}$	0,9	1,7	1,3	1,3	$CaSO_4$
$Mg^{2+}$	1,2	3,1	2,0	2,1	$MgSO_4$
$Cl^-$	2,0	5,4	3,1	3,5	$NaCl, MgCl_2$
$SO_4^{2-}$	3,5	7,8	5,2	5,5	$Na_2SO_4, MgSO_4$
$\Sigma$ солей	9,4	22,6	14,5	15,5	-

яние испарительных процессов и вторичного засоления оросительного происхождения. В осенний период содержание ионов снижалось вследствие частичного выноса солей в нижние горизонты и в грунтовые воды.

Таким образом, формирование солевого режима исследуемых почв определяется сочетанием природных (климатических и гидрогеологических) и антропогенных факторов, включая особенности орошения, дренаж и микро рельеф местности.

### Обсуждение результатов

Результаты проведенных полевых, лабораторных и геоинформационных исследований позволили комплексно оценить пространственно-временные особенности засоления почв в долинах Урангай и Ащысай Туркестанской области. Полученные данные подтверждают, что процессы засоления в горно-долинных районах имеют сложную природу, формирующуюся под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

#### 1. Геоэкологические особенности засоления

Для исследуемой территории характерно сочетание континентального засушливого климата, высокой солнечной радиации, малого количества атмосферных осадков (менее 300 мм в год) и интенсивного испарения, превышающего осадки более чем в три раза. Эти климатические условия способствуют постоянному водно-солевому стрессу почвенного покрова.

Полевые наблюдения показали, что основной вклад в формирование солевого режима вносят гидрогеологические процессы – подъем минерализованных грунтовых вод, особенно в понижениях рельефа, где отмечена глубина залегания вод менее 1,5–2,0 м. В сочетании с неэффективным дренажом и оросительной деятельностью это приводит к накоплению легкорастворимых солей в корнеобитаемом слое.

Отмеченные пространственные различия электропроводности (от 0,3 до 4,5 дС/м) указывают на выраженную мозаичность почвенного покрова, что типично для горно-долинных систем. Максимальные значения ЕС наблюдались в летний период в пониженных частях долин, вдоль русел временных водотоков и ирригационных каналов. На склонах и водоразделах значения ЕС значительно ниже, что связано с лучшей аэрацией и дренированием почв.

#### 2. Химическая специфика солевого состава

По химическому типу засоления исследуемые почвы относятся преимущественно к сульфатно-хлоридному типу, с преобладанием ионов натрия ( $Na^+$ ), магния ( $Mg^{2+}$ ) и сульфатных анионов ( $SO_4^{2-}$ ). Этот тип засоления характерен для полусухих территорий с периодическим промывным режимом.

Высокие концентрации ионов натрия и магния указывают на преимущественное влияние ирригационных вод, обогащенных солями натрия и магния, а также на наличие процессов вторичного засоления. В некоторых низинных участках зафиксировано преобладание хлоридов, что свидетельствует о застойных условиях и слабом дренировании.

Сезонная динамика также четко выражена:

*весной – минимальные концентрации солей вследствие промывочного действия осадков и частичного разбавления оросительными водами;*

*летом – максимальные значения ЕС и содержания ионов, обусловленные испарительным концентрированием;*  
*осенью – постепенное снижение концентраций вследствие вымывания и миграции солей в нижние горизонты.*

Эти закономерности соответствуют результатам аналогичных исследований, проведенных в аридных районах Центральной Азии, Ирана и Индии, где летний максимум засоления является типичной чертой почвенного режима [9–11].

#### 3. Пространственно-временные закономерности и риски деградации

Анализ пространственных данных, полученных с использованием ГИС-технологий, показал, что зона максимального засоления приурочена к центральным и нижним частям долин, где происходит аккумуляция грунтовых и оросительных вод. Именно здесь формируются очаги вторичного засоления, представляющие угрозу для агроландшафтов.

На склонах, наоборот, наблюдается более благоприятный гидрологический режим, обеспечивающий частичное вымывание солей. Такое распределение отражает тесную связь между микро рельефом и гидрогеологическими процессами.

Установленные закономерности подтверждают необходимость дифференцированного подхода к управлению водно-солевым балансом в зависимости от геоморфологического положения участка.

#### 4. Сравнение с международным опытом

Сопоставление полученных данных с зарубежными исследованиями показывает, что наблюдаемые процессы аналогичны тенденциям в других горно-долинных регионах мира. В частности, в северных районах Индии (штаты Харьяна и Пенджаб), в провинции Хэнань (Китай) и в иранских долинах Хорасан выявлены аналогичные механизмы вторичного засоления, обусловленные нарушением дренажных условий и длительным использованием оросительных систем без модернизации.

Однако успешные примеры Средиземноморских стран и Австралии показывают, что внедрение адаптивного управления водопользованием, строительство подземных дренажей и применение фитомелиорации (использование солеустойчивых растений) позволяют снизить уровень засоления на 30–50% в течение нескольких лет.

Это подтверждает, что для долин Урангай и Ащысай эффективными могут стать интегрированные меры, сочетающие инженерные, биологические и социально-экологические подходы.

#### 5. Геоэкологические рекомендации и управленческие решения

На основании анализа данных предлагается комплекс мер для снижения рисков засоления и повышения устойчивости землепользования:

##### Инженерно-гидротехнические меры

- реконструкция существующих оросительных и дренажных сетей;
- устройство горизонтальных и вертикальных дренажей в зонах повышенного увлажнения;
- контроль качества ирригационной воды.

*Агротехнические и биологические меры*

- внедрение солеустойчивых культур (ячмень, люцерна, солянка, саксаул, гребенщик);
- чередование культур с разной глубиной корневой системы;
- использование фитомелиорантов для биодренажа и снижения концентрации солей в верхних горизонтах.

*Информационно-мониторинговые меры*

- создание локальных геоэкологических баз данных и карт засоления;
- регулярный мониторинг ЕС, рН, уровня грунтовых вод;
- участие местных землепользователей в наблюдениях и принятии решений.

Реализация этих рекомендаций позволит не только сократить масштабы вторичного засоления, но и повысить адаптивный потенциал экосистем долин к изменяющимся климатическим и антропогенным условиям.

*6. Геоэкологическое значение результатов*

Проведенное исследование имеет не только прикладное, но и методологическое значение для развития региональных подходов к управлению природными ресурсами в условиях аридных горно-долинных систем. Полученные закономерности могут быть использованы для:

- моделирования процессов засоления в схожих природно-климатических условиях;
- планирования рационального водопользования;
- прогнозирования экологической устойчивости агроландшафтов.

Таким образом, засоление почв в долинах Урангай и Ащысай следует рассматривать как комплексный геоэкологический процесс, где взаимодействие природных и антропогенных факторов формирует специфический водно-солевой режим. Эффективное управление этим процессом требует междисциплинарного подхода, сочета-

ющего методы геоэкологии, гидрологии, почвоведения и социально-экологических наук.

**Заключение**

Представленные материалы показывают, что засоление почв в горных и предгорных регионах требует комплексного геоэкологического подхода, включающего сочетание инженерных, природоохранных и социальных мероприятий. Реализация этих мер способствует снижению риска деградации почв, повышению устойчивости экосистем и сохранению природного потенциала регионов. В условиях Туркестанской области и аналогичных территорий важно адаптировать международный опыт с учетом местных природных и гидрогеологических условий.

Результаты исследования свидетельствуют, что засоление почв в долинах Урангай и Ащысай имеет комплексный сезонно-пространственный характер.

*Основные выводы:*

1. Установлена закономерная динамика электропроводности: минимальные значения весной, максимальные летом и частичное снижение осенью.
2. Пространственное распределение солей обусловлено рельефом и гидрологическими условиями: максимальное накопление солей наблюдается в понижениях и вблизи оросительных каналов.
3. Соленые комплексы имеют преимущественно сульфатно-хлоридный характер с преобладанием ионов  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$ , что указывает на вторичный, оросительный генезис засоления.
4. Антропогенные факторы, такие как подача минерализованных вод, усиливают процессы вторичного засоления в долинах Урангай и Ащысай.

Полученные данные могут быть использованы для разработки мер по рациональному водно-солевому регулированию, улучшения мелиоративного состояния земель и оптимизации систем орошения в условиях засоленных почв.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Жук В.А. Засоление почв и методы его регулирования: М.: Наука, 2019. 256 с. (на русском языке)
2. Айdosов К.А., Кожакметова С.Т. Пространственно-временная изменчивость солевого режима орошаемых почв Туркестанской области // Почвоведение и агрохимия. 2021. № 3. С. 45–53 (на русском языке)
3. Кенжебаев С.Р., Абдрахманова А.Е. Геоэкологические аспекты засоления и деградации почв в горных и предгорных районах Туркестанской области // Вестник КазНУ. Серия географическая. 2022. № 3 (77). С. 56–64 (на русском языке)
4. Махмудов Р.А. и др. Влияние ирригации на процессы вторичного засоления почв: Ташкент: Фан, 2018. 180 с. (на русском языке)
5. Шеинов А.В. Методы оценки засоления почв по электропроводности // Агрофизика. 2020. № 4. С. 12–19 (на русском языке)
6. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO). Управление засолением в орошаемом земледелии: Рим: FAO, 2020. 92 с. (на английском языке)
7. Использование воды, водный баланс почвы и риски засоления почв в средиземноморских садах южной Португалии в условиях современной климатической изменчивости: вопросы контроля засоления и управления ирригацией / Рамуш Туаго Б. [и др.] // Agricultural Water Management. 2023. Т. 283. С. 108319 (на английском языке)
8. Засоление почв в сельском хозяйстве: стратегии смягчения и адаптации, основанные на природных решениях и биоинженерии / Таролли Паоло [и др.] // iScience. 2024. Т. 27. № 2. С. 108830 (на английском языке)

9. Али Р., Малик Р.Н. Пространственно-временная изменчивость засоления почв при различных практиках орошения в аридных условиях // *Environmental Earth Sciences*. 2021. Т. 80. № 4. С. 185–197 (на английском языке)
10. Мирзоева С.Р., Джурсаев Х.Т., Абдуллаев Б.Х. Пространственно-временная динамика засоления почв орошаемых земель Южного Узбекистана // *Почвоведение*. 2019. № 7. С. 865–876 (на русском языке)
11. Сезонная изменчивость засоления почв и влияющие факторы в аридных орошаемых районах Северо-Западного Китая / Чжан Х. [и др.] // *Catena*. 2020. Т. 188. С. 104437 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жук В.А. Топырақтың тұздануы және оны реттеу әдістері: М.: Ғылым, 2019. 256 б. (орыс тілінде)
2. Айдосов Қ.А., Қожахметова С.Т. Түркістан облысының суармалы топырақтарындағы тұздық режимнің кеңістіктік-уақыттық өзгергіштігі // *Топырақтану және агрохимия*. 2021. № 3. Б. 45–53 (орыс тілінде)
3. Кенжебаев С.Р., Абдрахманова А.Е. Түркістан облысының таулы және тау алды аймақтарындағы топырақтың тұздануы мен деградациясының геоэкологиялық аспектілері // *ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы*. 2022. № 3 (77). Б. 56–64 (орыс тілінде)
4. Махмудов Р.А. және т. б. Суару жүйесінің топырақтың екінші реттік тұздану үрдістеріне әсері: Ташкент: Фан, 2018. 180 б. (орыс тілінде)
5. Шеинов А.В. Топырақтың тұздануын электр өткізгіштік бойынша бағалау әдістері // *Агрофизика*. 2020. № 4. Б. 12–19 (орыс тілінде)
6. FAO. Суармалы егіншіліктегі тұздануды басқару: Рим: FAO, 2020. 92 б. (ағылшын тілінде)
7. Оңтүстік Португалияның Жерорта теңіздік бақтарында қазіргі климаттық өзгергіштік жағдайында су пайдалану, топырақ су балансы және топырақтың тұздану қаупі: тұздануды бақылау және суару менеджменті мәселелері / Рамуш Туаго Б. [және т. б.] // *Agricultural Water Management*. 2023. Т. 283. Б. 108319 (ағылшын тілінде)
8. Ауыл шаруашылығындағы топырақтың тұздануы: табиғи негіздегі шешімдер мен биоинженерияны біріктіретін бейімделу және жеңілдету стратегиялары / Таролли Паоло [және т. б.] // *iScience*. 2024. Т. 27. № 2. Б. (ағылшын тілінде)
9. Али Р., Малик Р.Н. Аридті ортада әртүрлі суару тәжірибелерінде топырақ тұздануының кеңістіктік-уақыттық өзгергіштігі // *Environmental Earth Sciences*. 2021. Т. 80. № 4. Б. 185–197 (ағылшын тілінде)
10. Мирзоева С.Р., Джурсаев Х.Т., Абдуллаев Б.Х. Оңтүстік Өзбекстанның суармалы жерлеріндегі топырақ тұздануының кеңістіктік-уақыттық динамикасы // *Топырақтану*. 2019. № 7. Б. 865–876 (орыс тілінде)
11. Құрғақшылыққа ұшыраған Солтүстік-Батыс Қытайдың суармалы аудандарында топырақ тұздануының маусымдық өзгергіштігі және оған әсер ететін факторлар / Чжан Х. [және т. б.] // *Catena*. 2020. Т. 188. Б. 104437 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Zhuk V.A. Zasolenie pochv i metody ego regulirovaniya [Soil Salinization and Methods of Its Regulation]: Moscow: Nauka, 2019. 256 p. (in Russian)
2. Aidosov K.A., Kozhakhmetova S.T. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' solevogo rezhima oroshaemykh pochv Turkestanskoi oblasti [Spatio-temporal variability of the salt regime in irrigated soils of the Turkistan Region], *Pochvovedenie i agrokimiya [Soil Science and Agrochemistry]*. 2021. No. 3. 45–53 pp. (in Russian)
3. Kenzhebayev S.R., Abdrakhmanova A.E. Geoekologicheskie aspekty zasoleniya i degradatsii pochv v gornyykh i predgornyykh raionakh Turkestanskoi oblasti [Geoeological aspects of soil salinization and degradation in the mountainous and foothill areas of the Turkistan Region], *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya [Bulletin of KazNU. Geographical Series]*. 2022. No. 3 (77). 56–64 pp. (in Russian)
4. Makhmudov R.A. et al. Vliyaniye irrigatsii na protsessy vtorichnogo zasoleniya poch [The Impact of Irrigation on the Processes of Secondary Soil Salinization]. Tashkent: Fan, 2018. 180 p. (in Russian)
5. Sheinov A.V. Metody otsenki zasoleniya pochv po elektroprovodnosti [Methods for assessing soil salinity based on electrical conductivity], *Agrofizika [Agrophysics]*. 2020. No. 4. 12–19 pp. (in Russian)
6. FAO. Salinity Management in Irrigated Agriculture: Rome: FAO, 2020. 92 p. (in English)
7. Water use, soil water balance and soil salinization risks of Mediterranean tree orchards in southern Portugal under current climate variability: Issues for salinity control and irrigation management / Tiago B. Ramos [et al.] // *Agricultural Water Management*. 2023. V. 283. 108319 p. (in English)

8. *Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering / Paolo Tarolli [et al.] // iScience. 2024. V. 27. Issue 2. 108830 p. (in English)*
9. *Ali R., Malik R.N. Spatio-temporal variability of soil salinity under irrigation practices in arid environments // Environmental Earth Science. 2021. V. 80. No. 4. 185–197 pp. (in English)*
10. *Mirzoeva S.R., Juraev Kh.T., Abdullaev B.Kh. Prostranstvenno-vremennaya dinamika zasoleniya pochv oroshaemykh zemel' Yuzhnogo Uzbekistana [Spatio-temporal dynamics of soil salinization in the irrigated lands of Southern Uzbekistan], Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]. 2019. No. 7. 865–876 pp. (in Russian)*
11. *Seasonal variation of soil salinity and its influencing factors in arid irrigation areas of Northwest China / Zhang X. [et al.] // Catena. 2020. V. 188. 104437 p. (in English)*

**Сведения об авторах:**

**Сунакбаева Д.К.**, к.т.н., Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), [dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz](mailto:dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz); <https://orcid.org/0009-0006-3727-4891>

**Юлдашбек Д.Х.**, магистр химии, ст. научный сотрудник НИИ «Экология», Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), [davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz](mailto:davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0001-9342-7502>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Сунакбаева Д.К.**, т.ғ.к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

**Юлдашбек Д.Х.**, химия магистрі, «Экология» ҒЗИ-ның аға ғылыми қызметкері, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Sunakbaeva D.K.**, candidate of technical sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

**Yuldashbek D.Kh.**, Master of Chemistry, Senior Researcher of the Research Institute «Ecology», Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)



**СПТОКРАНЫ**  
WWW.CRANE-EXPO.RU

**17-19 июня 2026**  
г. Москва, ВДНХ,  
57 павильон

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

**СПТОКРАНЫ**

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

## 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/?p1=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 подрисовочном 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.