

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 №290 от 26.06.2022 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](http://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, Москва –  
**ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ**  
[shvetsirina@yandex.ru](mailto:shvetsirina@yandex.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 30.11.2024 г.

Отпечатано:  
«Print House Geronа»  
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:

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

**Fidelis Tawiah Suorineni**, PhD, Professor of Mining Engineering,

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

**Бекботаева А.А.**, PhD, ассоц. профессор

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

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

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

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

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

**Демин В.Ф.**, д-р техн. наук, профессор

**Едильбаев А.И.**, д-р техн. наук

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

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

**Каримов Ш.В.**, PhD (Узбекистан)

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

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

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

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

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

**Ольшанский Е.Н.**, член-корреспондент МАИН

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

**Ратов Б.Т.**, д-р техн. наук, профессор

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

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

**Тамбиев П.Г.**, канд. техн. наук

**Туробов Ш.Н.**, PhD, доцент

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

**Хамидов Р.А.**, PhD, доцент

**Шодиев А.Н.**, д-р техн. наук, доцент

**Чепуштанова Т.А.**, PhD

® – статья на правах рекламы

Ⓜ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- Взрывное дело**
- 4 \*Б.А. Орынбаев, Е.Х. Абен  
Влияние точности замедлений электронных средств инициирования на качество буровзрывных работ
- Геотехнология**
- 10 А.Ж. Имашев, \*Г.Т. Нуриайыкова, Ш.Б. Зейтинова, З.К. Тунгушбаева  
Численный анализ устойчивости бортов и основания отвала на основе метода конечных элементов
- Геология**
- 17 M.V. Ponomareva, \*Ye. V. Ponomareva, A.T. Tungushbayeva, D.A. Inkin  
Assessment of industrial significance of the Shektas and Surdzhar sites in the north-eastern part of the Zhezkazgan depression
- Геодезия**
- 23 Г. Мейрамбек, \*Д.Ж. Рахимбаева, К.Б. Рысбеков, А. Ержанқызы  
Мониторинг изменения береговой линии Каспийского моря методом водного индексирования на основе геопространственных данных
- Маркшейдерское дело**
- 32 T.B. Nurpeissova, G.S. Madimarova, \*A.E. Ormambekova, F.T. Juldikarayeve  
Modeling of mining and geological objects Akzhal career
- Геомеханика**
- 40 \*Б.А. Орынбаев, С.Б. Алиев, С.С. Мырзахметов  
Сравнительный анализ методов оценки устойчивости откосов в изотропной среде
- Обогащение полезных ископаемых**
- 47 \*С.Р. Бейсенова, М.Б. Барменишинова  
Определение технологических показателей флотационного обогащения в процессе проведения опытно-промышленных испытаний флотомашины Jameson Cell 1500
- Геоэкология**
- 52 Г.А. Исенгалиева, \*Г.А. Гатаулина, С.К. Алмат, А.А. Тогизбаева  
Загрязнение почв бассейна реки Эмба и очистка их от нефтепродуктов
- 57 \*Б. Хусан, Д.А. Бейшенкулова, Е.А. Цешковская, Н.К. Цой  
Анализ воздействия угольного месторождения Агулак на состояние окружающей среды
- Нефтегазовое дело**
- 65 \*А.С. Хадиева, К.Т. Бисембаева, Г.С. Сабырбаева, А.И. Койшина  
Мұнай өндіруді қарқынды мақсатында полиакриламидті біртекті емес қабатта қолдану тиімділігін зерттеу
- 72 Требования к оформлению и условия предоставления статей

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат  
Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Дорогие коллеги!  
Уважаемые члены редколлегии!*

Отшумели праздники, приближается конец года. Есть необходимость поговорить о роли Казахстана в мировом рынке металлов и других полезных ископаемых, учитывая бытующее в сознании казахстанцев устоявшееся мнение о неисчислимых богатствах недр, которыми природа одарила нашу страну.

На самом деле так оно и есть. Но мы с вами знаем, что геологические процессы рудообразования, зависящие от геохимических закономерностей и геофизической деятельности, приводят к созданию скоплений экономически целесообразных объемов в земной коре (в первую очередь в континентальной) в 5-10 тысяч раз медленнее, чем мы эти объемы успеваем отрабатывать. Статистика и наука дают нам информацию, что в течение 30-150 лет, начиная с 2050 г., в пределах континентальной земной коры до глубины 5 км, занимающей около 25-30% общей ее площади (которая физически пригодна или разрешена для освоения), запасы металлов будут исчерпаны.

На эту проблему накладываются некоторые другие, являющиеся по своему происхождению уже техногенными, т.е. зависящими от деятельности человека, который хочет жить лучше, но зачастую в вопросах освоения недр делает все наоборот. Потери в недрах при добыче и на поверхности уже после добычи в отвалах забалансовых руд, в шлаках, шлаках, клинкерах, в хвостах обогащения в общей сложности в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов и от технологий обогащительного передела и металлургии находятся в пределах от 7-10% до 40-50% от созданных природой запасов.

Вдобавок мы безвозвратно портим природную среду, в которой мы обитаем. Речь идет об атмосфере, о подземных и поверхностных водных стоках, о неповторимых флоре и фауне, природной рельефной красоте поверхности, потере растительного покрова и многом еще другом.

Обстановка требует на уровне планеты, включая и нашу Родину, совместных усилий по созданию нового облика и технологического содержания освоения недр, который мы назвали «созидательное освоение недр», действующего в управляемом режиме в ресурсосберегающем и ресурсовоспроизводящем режиме с сохранением качественной природной среды.

Вторая часть проблемы для нашего государства особенно важна, т.к. она связана с экономической политикой, зависящей и от наличия собственных и привлеченных ресурсов, и от грамотного подхода к определению насущных интересов.

Когда государство говорит о состоянии недр, ему преподносится геологическими службами информация о тех запасах полезных ископаемых, которые обнаружены и подсчитаны геологами в недрах по требованиям этой службы. Их оценивают как стопроцентные богатства в рудах, но оттуда надо исключить те потери, о которых мы говорили выше, и другие исключаящие факторы, чего никогда не делают, создавая иногда вредные иллюзии.

В этом направлении необходимо всегда объединять усилия геологов и специалистов горно-металлургического комплекса. В таком ракурсе мы будем оперировать более надежной информацией, которая позволяет безошибочно определять стратегию развития и геологии, и промышленного производства.

Пожелаем успехов в решении этих задач, определяющих сохранение у нашей страны своей роли на мировом рынке минерального сырья и в создании уверенного экономического базиса благополучия и социального спокойствия.

Код МРНТИ 52.13.21

\*Б.А. Орынбаев, Е.Х. Абен  
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАМЕДЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию влияния точности замедлений электронных средств инициирования на эффективность буровзрывных работ в горнодобывающей промышленности. В статье рассматриваются современные методы взрывных работ, акцентируя внимание на преимуществах применения электронных детонаторов, таких как улучшение фрагментации пород, снижение выхода негабаритов и контроль разубоживания руды. Авторами проведены опытно-промышленные испытания на проекте «Хаджиконган», которые показали, что использование электронных систем инициирования позволяет добиться существенных улучшений в управлении гранулометрическим составом и загрузке самосвалов, что в конечном итоге повышает экономическую эффективность и снижает негативное воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** электронные средства инициирования, буровзрывные работы, точность замедлений, качество дробления, гранулометрический состав взорванной горной массы, выход негабаритных кусков, разубоживание руды.

### Электрондық инициация құралдарының баяулау дәлдігінің бұрғылау жару жұмыстарының сапасына әсері

**Андапта.** Мақала тау-кен өнеркәсібіндегі бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігіне электронды инициация құралдарының баяулау дәлдігінің әсерін зерттеуге арналған. Мақалада электронды детонаторларды қолданудың артықшылықтарына назар аударатырып, жарылыс жұмыстарының заманауи әдістері қарастырылады, мысалы, тау жыныстарының бөлшектенуін жақсарту, үлкен мөлшердің шығуын азайту және кендердің ыдырауын бақылау. Авторлар «Хаджиконган» жобасында тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар жүргізді, бұл электронды инициация жүйелерін пайдалану гранулометриялық құрамды басқаруда және самосвалдарды жүктеуде айтарлықтай жақсартуларға қол жеткізуге мүмкіндік беретінін көрсетті, бұл сайып келгенде экономикалық тиімділікті арттырады және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтады.

**Түйінді сөздер:** электрондық инициация құралдары, бұрғылау-жару жұмыстары, баяулау дәлдігі, ұсақтау сапасы, жарылған тау массасының гранулометриялық құрамы, габаритті емес бөліктердің шығуы, кенді ыдырату.

### The effect of the accuracy of the deceleration of electronic means of initiation on the quality of drilling and blasting operations

**Abstract.** The article is devoted to the study of the effect of the accuracy of deceleration of electronic means of initiation on the efficiency of drilling and blasting operations in the mining industry. The article discusses modern methods of blasting, focusing on the advantages of using electronic detonators, such as improving rock fragmentation, reducing the yield of oversized materials and controlling ore dilution. The authors conducted pilot tests at the Khajikonggan project, which showed that the use of electronic initiation systems allows for significant improvements in the management of granulometric composition and loading of dump trucks, which ultimately increases economic efficiency and reduces the negative impact on the environment.

**Key words:** electronic means of initiation; drilling and blasting operations; deceleration accuracy; crushing quality; granulometric composition of the blasted rock mass, yield of oversized pieces, ore dilution.

### Введение

Современные буровзрывные работы в горнодобывающей промышленности играют ключевую роль в процессе добычи полезных ископаемых, определяя эффективность дальнейшей переработки и экономическую целесообразность всего производственного цикла. Одной из важнейших задач при проведении взрывных работ является обеспечение точного контроля над разрушением горных пород, минимизация потерь и разубоживания рудной массы. В этой связи актуальность внедрения высокоточных средств инициирования, таких как электронные детонаторы, значительно возрастает, особенно в условиях увеличивающихся требований к безопасности, экологической ответственности и экономической эффективности операций [1].

Проблема точности замедлений в электронных средствах инициирования пока еще не получила должного изучения. Однако ее значение трудно переоценить: недостаточная точность инициирования может привести к нарушениям в последовательности взрывов, ухудшению качества дробления породы и увеличению сейсмического воздействия на окружающую среду [2]. Объектом исследования являются электронные детонаторы и их роль в БВР, а предметом – точность их замедлений и ее влияние на результативность взрывных работ.

Цель данного исследования заключается в анализе влияния точности замедлений электронных средств инициирования на качество буровзрывных работ, в том числе на

фрагментацию горной массы, выход негабаритных кусков и разубоживание руды.

### Материалы и методы

Электронные средства инициирования (ЭСИ) – это устройства и системы, которые применяются для инициирования взрывных устройств с использованием электрических сигналов. Они широко используются в горнодобывающей промышленности, строительстве, военном деле и других областях, где требуется точное управление процессами взрыва. Основное преимущество электронных средств инициирования заключается в высокой точности времени срабатывания и возможности дистанционного управления [3].

Практическое применение электронных средств инициирования в сочетании с методами создания предварительного разупрочнения в массиве уже показало свою эффективность [4].

ТОО «НПП «Интеррин» были проведены опытно-промышленные испытания в условиях проекта «Хаджиконган» ТОО «Корпорация Казахмыс» для определения экономической целесообразности применения устройств электронной системы инициирования DaveyTronic.

На основании предварительной работы было выявлено, что для проекта «Хаджиконган» наиболее перспективным направлением применения электронной системы инициирования является управление гранулометрическим составом.



**Рис. 1. Конструкции различных видов средств инициирования.**

**Сурет 1. Инициация құралдарының әртүрлі түрлерінің конструкциялары.**

**Figure 1. Designs of various types of initiation tools.**

### Результаты и обсуждение

В ходе проведения испытаний общий объем взорванной массы составил 417640 м<sup>3</sup> со средним удельным расходом 0,85 кг/м<sup>3</sup> и выходом горной массы с 1 п.м. – 26,7м<sup>3</sup>/п.м. Также немаловажно заметить, что на протяжении всего периода проведения опытно-промышленных испытаний с применением устройств электронной системы инициирования DaveyTronic все взрывные работы были проведены с применением одного патрон-боевика на скважину, в противовес штатно применяемой системе с использованием двух патрон-боевиков на скважину глубиной начиная от 10 м и более. Данный опыт использования одного патрон-боевика на скважинах от 5 м до 18 м в связке с электронными капсулями системы инициирования DaveyTronic дал положительные результаты по проработке подошвы уступа до проектных отметок и отработки откосов уступа до проектных месячных контуров, что было подтверждено маркшейдерской службой по итогам отгрузки взорванной горной массы выемочно-погрузочной техникой.

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Загрузка самосвалов в зависимости от применяемых средств инициирования**

**Кесте 1**

**Қолданылатын бастамашылық құралдарына байланысты самосвалдарды жүктеу**

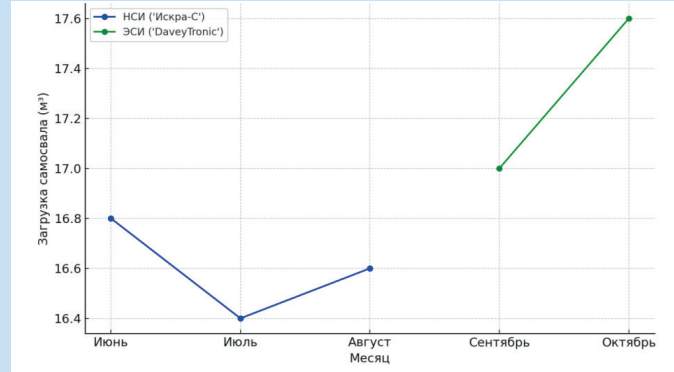
**Table 1**

**Loading of dump trucks depending on the means of initiation used**

Средства инициирования	Месяц, 2022 г.	Загрузка самосвала, м <sup>3</sup>
НСИ («Искра-С»)	июнь	16,8
НСИ («Искра-С»)	июль	16,4
НСИ («Искра-С»)	август	16,6
ЭСИ («DaveyTronic»)	сентябрь	17,0
ЭСИ («DaveyTronic»)	октябрь	17,6

По результатам маркшейдерских замеров за период с 07.09.2022 г. по 10.10.2022 г. установлено, что в ходе опытно-промышленных испытаний с применением устройств

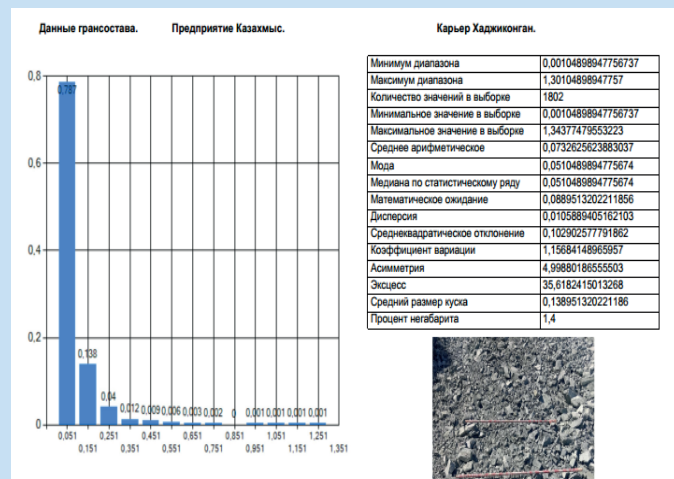
электронной системы инициирования DaveyTronic загрузка самосвалов МТ 86 Н среднем составила 17,3 м<sup>3</sup>.



**Рис. 2. Зависимость загрузки самосвалов от вида применяемых средств инициирования.**

**Сурет 2. Самосвалдарды жүктеудің қолданылатын инициация құралдарының түріне тәуелділігі.**  
**Figure 2. Dependence of dump truck loading on the type of initiation tools used.**

За период проведения взрывных работ с применением НСИ загрузка самосвала варьировалась от 16,4 до 16,8 м<sup>3</sup>, что указывает на относительно стабильные результаты. Однако, несмотря на стабильность, загрузка оставалась на уровне чуть ниже 17 м<sup>3</sup>. С переходом на ЭСИ в сентябре наблюдается повышение загрузки самосвала до 17,0 м<sup>3</sup>, а в октябре – до 17,6 м<sup>3</sup>. Это может свидетельствовать о более эффективной работе системы инициирования взрыва, что приводит к лучшему дроблению горной массы и, соответственно, более полной загрузке самосвала.



**Рис. 3. Пример анализа гранулометрического состава взорванной горной массы с помощью программного комплекса K-MINE.**

**Сурет 3. K-MINE бағдарламалық кешені арқылы жарылған тау массасының гранулометриялық құрамын талдаудың мысалы.**

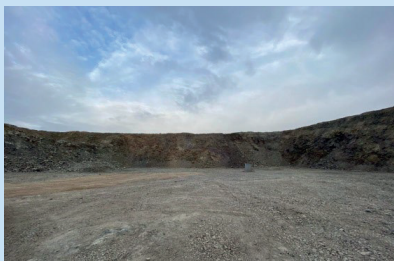
**Figure 3. Example of the analysis of the granulometric composition of an exploded rock mass using the K-MINE software package.**

Проведенный анализ гранулометрического состава взорванной горной массы с помощью программного комплекса K-MINE Granules за период испытаний на проекте «Хаджиконган», показал, что средний выход негабаритов составил 1,56% при штатном выходе негабаритов 4%.

Фотофиксация взорванной массы соответствующих блоков проводилась мастерами БВР участков совместно с маркшейдерской службой.

Разница между маркшейдерским замером в объеме 457747 м<sup>3</sup> и оперативным учетом в объеме 427904 м<sup>3</sup> за период с 07.09.2022 г. по 10.10.2022 г. разница составила +29843 м<sup>3</sup>.

При сопоставлении горных работ на 29.09.2022 г. с план-графиком на сентябрь 2022 года по карьеру Хаджиконган отметка по забоям горизонтов 587.5 м, 595 м, 610 м отработана в пределах допуска (+/-0.5 м), доведены фактические контура до планируемого, отклонение составляет до 1.0 м.



**Рис. 4. Соблюдение проектных контуров карьера и отметок по подошве.**

**Сурет 4. Карьердің жобалық контурларын және табан бойынша белгілерді сақтау.**

**Figure 4. Compliance with the design contours of the quarry and the marks on the sole.**

Электронные средства инициирования играют важную роль в контроле разбуживания руды, оказывая влияние на точность и эффективность взрывных работ. В горнодобывающей промышленности разбуживание руды связано с попаданием пустой породы в массу добываемого материала, что приводит к снижению качества продукции и увеличению затрат на переработку [5].

Так на этапе БВР возникает значительный риск потерь и разбуживания, основным источником которых является зона контакта рудного тела со вмещающими породами и с участком другого сорта руды, а также сброс горной массы в выработанное пространство при взрыве надбермовых блоков.

Основные аспекты влияния электронных средств инициирования на контроль разбуживания руды:

- *точность времени взрыва. Электронные системы инициирования позволяют задавать точное время задержки между взрывами. Это способствует более равномерному и контролируемому разрушению горных пород, что, в свою очередь, снижает смешивание руды с пустой породой [6];*

- *улучшение фрагментации породы. Электронные детонаторы обеспечивают равномерное распределение энергии взрыва, что приводит к лучшей фрагментации руды. Более мелкие и равномерные куски горной массы облегчают последующие процессы обогащения и снижают разбуживание [7];*

- *снижение риска переразрушения. Точная синхронизация взрывов помогает избежать чрезмерного разрушения руды, что может привести к повышенному попаданию пустой породы в рудную массу;*

- *контроль зон разрушения. Электронные детонаторы дают возможность более точно контролировать зоны взрыва, что важно для минимизации нецелевого срыва пород. Это снижает вероятность попадания пустых пород в рудную массу [8].*

Таким образом, внедрение электронных систем инициирования позволяет существенно повысить эффективность горных работ, снизить разбуживание руды и повысить качество добываемого материала, что напрямую отражается на экономической эффективности всего производственного процесса.



**Рис. 5. Влияние электронных средств инициирования на контроль разбуживания руды.**

**Сурет 5. Электрондық инициация құралдарының кенді ыдыратуды бақылауға әсері.**

**Figure 5. The effect of electronic means of initiation on the control of ore dilution.**

### Выводы

На основе проведенного исследования и испытаний использования электронных систем инициирования (ЭСИ) в горнодобывающей промышленности, а также анализа их влияния на точность буровзрывных работ, можно сделать следующие выводы:

- *важность точности замедлений. Точность замедлений при использовании электронных средств инициирования играет ключевую роль в достижении высоких результатов при взрывных работах. Благодаря возможности точно задавать время срабатывания каждого детонатора, достигается более равномерное и контролируемое разрушение пород. Это снижает вероятность переразрушения и смешивания пустой породы с рудой, что уменьшает разбуживание рудной массы и повышает ее качество [9];*

- снижение выхода негабаритов. Применение ЭСИ также способствует снижению количества негабаритных фракций. В ходе испытаний на проекте «Хаджиконган» было установлено, что средний выход негабаритов при использовании ЭСИ составил 1,56%, что значительно ниже штатного уровня (4%). Это свидетельствует о более равномерной фрагментации пород, что упрощает дальнейшие этапы обработки и транспортировки руды;

- заполняемость кузова самосвала. Результаты испытаний также показали, что использование электронных систем инициирования привело к увеличению заполняемости самосвалов. Средняя загрузка самосвала с применением ЭСИ составила 173 м<sup>3</sup>, тогда как при использовании традиционных систем инициирования загрузка варьировалась от 164 до 168 м<sup>3</sup>. Это связано с более эффективной фрагментацией и оптимизацией работы техники,

что позволяет увеличить объем перевозимого материала за один рейс;

- контроль разубоживания руды. Электронные системы инициирования позволяют более точно контролировать зоны разрушения и минимизировать нецелевой срыв пород. Это снижает количество пустой породы, попадающей в рудную массу, что непосредственно влияет на качество добываемого материала и экономическую эффективность переработки руды [10].

Проведенные исследования и результаты испытаний на примере использования электронных систем инициирования (ЭСИ), таких как DaveyTronic, на проекте «Хаджиконган» продемонстрировали значительное влияние точности замедлений на эффективность буровзрывных работ (БВР), качество фрагментации пород, экономическую выгоду и общую производительность горнодобывающего процесса.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рябков А.Г. Промышленное применение электрических детонаторов с электронным замедлением. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. №2 (12). С. 247-254 (на русском языке)
2. Lewis R. Оценка интеллектуальных систем инициирования для улучшения контроля взрывных работ. / Lewis R., Peters J., Thompson L. // Международный журнал горной науки и техники. 2018. №28. С. 559-565 (на английском языке)
3. Белин В.А. Новые технологии ведения взрывных работ. / В.А. Белин, М.Г. Горбонос, С.К. Мангуш, Б.В. Эквист. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №1. С. 87-102 (на русском языке)
4. Козырев С.А. Оценка эффективности применения электронных инициирующих устройств «Искра-Т» по условиям дробления и сейсмического действия торцевых взрывов. / С.А. Козырев, Е.А. Власова, А.В. Соколов, Е.А. Усачев. // Горная промышленность. 2021. №2. С. 107-113 (на русском языке)
5. Квитка В.В. Способ оптимальной отработки контактной зоны руда – порода. / В.В. Квитка, С.И. Фомин, П.Б. Кава. // Записки Горного института. 2012. №197. С. 165-168 (на русском языке)
6. Raphael Trousselle. Достижения в области систем электронных детонаторов для повышения безопасности взрывных работ и контроля фрагментации. / Raphael Trousselle, William J. Reiss, Sami Kara, William R. Adamson. // Механика горных пород и геотехническая инженерия. 2019. №11. С. 250-259 (на английском языке)
7. Iwano K. Снижение вибраций грунта, вызываемых взрывными работами в туннелях, с помощью современных электронных детонаторов. / Iwano K., Hashiba K., Nagae J., Fukui K. // Технологии строительства туннелей и подземных пространств. 2020. №105. С. 103-105 (на английском языке)
8. Лысак Ю.А. Повышение сейсмической безопасности при взрывных работах. / Ю.А. Лысак, А.Ю. Плотников, Е.Б. Шевкун, А.В. Лецинский. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №4. С. 283-292 (на русском языке)
9. Шевкун Е.Б. Особенности взрывного рыхления при увеличенных интервалах замедления. / Шевкун Е.Б., Лецинский А.В., Лысак Ю.А., Плотников А.Ю. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №4. С. 272-282 (на русском языке)
10. Жуликов В.В. ООО «АЗОТТЕХ». Обоснование эффективности взрывных работ с использованием электронных систем в сравнении с неэлектрическими средствами инициирования. / В.В. Жуликов, К.А. Князев, С.С. Назаров. // Горная Промышленность. 2022. №5. С. 64-68 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Рябков А.Г. Электронды баяулауы бар электр детонаторларын өнеркәсіптік қолдану. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2010. №2 (12). Б. 247-254 (орыс тілінде)
2. Lewis R. Жарылыс жұмыстарын бақылауды жақсарту үшін Интеллектуалды инициация жүйелерін бағалау. / Lewis R., Peters J., Thompson L. Халықаралық тау-кен ғылымы және техникасы журналы. 2018. №28. Б. 559-565 (ағылшын тілінде)

3. Белин В.А. Жарылыс жұмыстарын жүргізудің жаңа технологиялары. / В.А. Белин, М.Г. Горбонос, С.К. Мангуш, Б.В. Эквист. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2015. №1. Б. 87-102 (орыс тілінде)
4. Козырев С.А. Соңғы жарылыстардың ұсақтау және сейсмикалық әсер ету шарттары бойынша «Искра-Т» электронды бастамашыл құрылғыларын қолдану тиімділігін бағалау. / С.А. Козырев, Е.А. Власова, А.В. Соколов, Е.А. Усачев. // Тау-кен өнеркәсібі. 2021. №2. Б. 107-113 (орыс тілінде)
5. Квитка В.В. Кен – тау жыныстарының байланыс аймағын оңтайлы өңдеу әдісі. / Квитка В.В., Фомин С.И., Кава П.Б. // Тау-кен институтының жазбалары. 2012. №197. Б. 165-168 (орыс тілінде)
6. Raphael Rousselle. Жарылыс жұмыстарының қауіпсіздігін арттыру және фрагментацияны бақылау үшін электронды детонатор жүйелерінің жетістіктері. / Raphael Rousselle, William J. Reiss, Sami Kara, William R. Adamson. // Тау жыныстарының механикасы және геотехникалық инженерия. 2019. №11. Б. 250-259 (ағылшын тілінде)
7. Iwano K. Заманауи электронды детонаторлардың көмегімен туннельдердегі жарылғыш жұмыстардан туындаған жер тербелістерін азайту. / Iwano K., Hashiba K., Nagae J., Fukui K. // Туннельдер мен жер асты кеңістігін құру технологиясы. 2020. №105. Б. 103-105 (ағылшын тілінде)
8. Лысак Ю.А. Жарылыс кезінде сейсмикалық қауіпсіздікті арттыру. / Лысак Ю.А., Плотников А.Ю., Шевкун Е.Б., Лещинский А.В. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2017. №4. Б. 283-292 (орыс тілінде)
9. Шевкун Е.Б. Баяулау аралықтары ұлғайған кезде жарылғыш қопсыту ерекшеліктері. / Е.Б. Шевкун, А.В. Лещинский, Ю.А. Лысак, А.Ю. Плотников. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2017. №4. Б. 272-282 (орыс тілінде)
10. Жуликов В.В. «АЗОТТЕХ» ЖШС. Электрлік емес инициация құралдарымен салыстырғанда электрондық жүйелерді пайдалана отырып, жарылыс жұмыстарының тиімділігін негіздеу. / В.В. Жуликов, К.А. Князев, С.С. Назаров. // Тау-кен өнеркәсібі. 2022. №5. Б. 64-68 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Ryabkov A.G. Promyshlennoe primeneniye elektricheskikh detonatorov s elektronnyim zamedleniem. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2010. №2 (12). S. 247-254 [Ryabkov A.G. Industrial application of electric detonators with electronic deceleration. Mining Information and Analytical bulletin. 2010. №2 (12). P. 247-254] (in Russian)
2. Lewis R. Evaluation of Smart Initiation Systems for Improved Blast Control. / Lewis R., Peters J., Thompson L. // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. №28. P. 559-565 (in English)
3. Belin V.A. Novye tekhnologii vedeniya vzryvnykh rabot. / V.A. Belin, M.G. Gorbonos, S.K. Mangush, B.V. Ekvist. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2015. №1. S. 87-102 [Belin V.A. New technologies of blasting operations. / Belin V.A., Gorbonos M.G., Mangush S.K., Ekvist B.V. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2015. №1. P. 87-102] (in Russian)
4. Kozыrev S.A. Otsenka effektivnosti primeneniya elektronnykh initsiiroyushchikh ustroystv «Iskra-T» po usloviyam drobleniya i seismicheskogo deystviya tortsevykh vzryvov. / S.A. Kozыrev, E.A. Vlasova, A.V. Sokolov, E.A. Usachev. // Gornaya promyshlennost'. 2021. №2. S. 107-11 [Kozыrev S.A. Evaluation of the effectiveness of the use of electronic initiating devices «Iskra-T» under the conditions of crushing and seismic action of end explosions. / Kozыrev S.A., Vlasova E.A., Sokolov A.V., Usachev E.A. // Mining Industry. 2021. №2. P. 107-113] (in Russian)
5. Kvitka V.V. Sposob optimal'noi otrabotki kontaktnoi zony ruda – poroda. / V.V. Kvitka, S.I. Fomin, P.B. Kava. // Zapiski Gornogo instituta. 2012. №197. S. 165-168 [Kvitka V.V. The method of optimal mining of the ore – rock contact zone. / Kvitka V.V., Fomin S.I., Kava P.B. // Notes of the Mining Institute. 2012. №197. P. 165-168] (in Russian)
6. Raphael Trousselle. Advancements in Electronic Detonator Systems for Enhanced Blasting Safety and Fragmentation Control. / Raphael Trousselle, William J. Reisz, Sami Kara, William R. Adamson. // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. №11. P. 250-259 (in English)
7. Iwano K. Reduction of tunnel blasting induced ground vibrations using advanced electronic detonators. / Iwano K., Hashiba K., Nagae J., Fukui K. // Tunnelling and Underground Space Technology. 2020. №105. P. 103-105 (in English)
8. Lysak Yu.A. Povysheniye seismicheskoi bezopasnosti pri vzryvnykh rabotakh. / Yu.A. Lysak, A.Yu. Plotnikov, E.B. Shevkun, A.V. Leshchinskii. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2017. №4. S. 283-292 [Lysak Yu.A. Improving seismic safety during blasting operations. / Lysak Yu.A.,



*Plotnikov A.Yu., Shevkun E.B., Leshchinsky A.V. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2017. №4. P. 283-292] (in Russian)*

9. *Shevkun E.B. Osobennosti vzryvnogo rykhleniya pri uvelichennykh intervalakh zamedleniya. / Shevkun E.B., Leshchinskii A.V., Lysak Yu.A., Plotnikov A.Yu. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2017. №4. S. 272-282 [Shevkun E.B. Features of explosive loosening at increased deceleration intervals. / Shevkun E.B., Leshchinsky A.V., Lysak Yu.A., Plotnikov A.Yu. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2017. №4. P. 272-282] (in Russian)*
10. *Zhulikov V.V. OOO «AZOTTEKh». Obosnovanie effektivnosti vzryvnykh rabot s ispol'zovaniem elektronnykh sistem v sravnenii s neelektricheskimi sredstvami initsirovaniya. / V.V. Zhulikov, K.A. Knyazev, S.S. Nazarov. // Gornaya Promyshlennost'. 2022. №5. S. 64-6 [Zhulikov V.V. AZOTTECH LLC. Substantiation of the effectiveness of blasting operations using electronic systems in comparison with non-electrical means of initiation. / Zhulikov V.V., Knyazev K.A., Nazarov S.S. // Mining Industry. 2022. №5. P. 64-68] (in Russian)*

**Сведения об авторах:**

**Орынбаев Б.А.**, докторант, кафедра «Горное дело», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [baurgud@mail.ru](mailto:baurgud@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4963-7737>

**Абен Е.Х.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Горное дело», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [y.aben@satbayev.university](mailto:y.aben@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8537-229X>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Орынбаев Б.А.**, докторант, «Тау-кен ісі» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Әбен Е.Х.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Тау-кен ісі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Orynbayev B.A.**, doctoral student, Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Aben E.H.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

XXXIII Международная специализированная выставка технологий горных разработок

# УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ



XV Международная специализированная выставка

## ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

X Международная специализированная выставка

## НЕДРА РОССИИ

VI Специализированная выставка

## ПРОМТЕХЭКСПО

**3-6 июня 2025**



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

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



Код МРНТИ 52.13.17:52.13.04

А.Ж. Имашев<sup>1</sup>, \*Г.Т. Нуршайыкова<sup>2</sup>, Ш.Б. Зейтинова<sup>1</sup>, З.К. Тунгушбаева<sup>3</sup><sup>1</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),<sup>3</sup>Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК, ВНИИцветмет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ И ОСНОВАНИЯ ОТВАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Аннотация.** Статья посвящена исследованиям устойчивости конструкций отвала, включая его основания и борта, с применением численных методов, в частности метода конечных элементов. В статье анализируются факторы, влияющие на устойчивость откосов, при этом особое внимание уделяется методам математического моделирования и инженерным расчетам. Был осуществлен численный анализ с применением метода конечных элементов в программном обеспечении RS-2, с целью оценки коэффициента запаса устойчивости откосов отвала. Проведены исследования по анализу паспортов прочности горных пород с учетом критериев разрушения, представленных в модели Кулона-Мора. Цель работы заключалась в качественном переходе от свойств образцов к характеристикам нетронутого массива горных пород. В результате выполненных исследований были получены результаты, которые могут быть использованы для оптимизации проектирования откосов отвалов, повышения их безопасности и защиты окружающей среды.

**Ключевые слова:** отвал, угол внутреннего трения, техногенные образования, коэффициент запаса устойчивости, породы, трещиноватость, угол падения откоса.

### Шекті элементтер әдісіне негізделген үйінді беткейлері мен табанын орнықтылығын сандық талдау

**Андатпа.** Мақала үйінді беткейлерінің оптималды бұрыштарын негіздеу үшін қажетті геомеханикалық аспектілерге арналған. Зерттеу барысында беткейлердің тұрақтылығына әсер ететін факторлар талданады, мұнда математикалық модельдер және инженерлік есептеулер әдістеріне ерекше назар аударылады. Зерттеу барысында RS-2 бағдарламалық қамтамасыз етуге шекті элементтер әдісін қолдана отырып, үйінді беткейлерінің орнықтылық қор коэффициентін бағалау үшін сандық талдау жүргізілді. Кулон-Мора моделінде ұсынылған бұзылу критерийлерін ескере отырып, тау жыныстарының беріктігі паспорттарын талдау бойынша зерттеулер жүргізілді. Жұмыстың мақсаты үлгілердің қасиеттерінен тау жыныстарының бүлінбеген массивінің сипаттамаларына сапалы өтуді қамтамасыз ету болды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған нәтижелер үйінді беткейлерін жобалауды оңтайландыру, олардың қауіпсіздігін арттыру және қоршаған ортаны қорғау үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Түйінді сөздер:** үйінді, ішкі үйкеліс бұрышы, техногенді құрылымдар, орнықтылық қор коэффициенті, жыныстар, жарықшақтылық, беткейдің құлау бұрышы.

### Numerical analysis of the stability of slopes and foundations of dumps based on the finite element method

**Abstract.** The article is devoted to studies of the stability of the dump structures, including its bases and sides, using numerical methods, in particular the finite element method. The article analyzes the factors affecting the stability of slopes, with special attention being paid to methods of mathematical modeling and engineering calculations. A numerical analysis was carried out using the finite element method in the RS-2 software in order to estimate the coefficient of stability of the slope of the dump. Studies have been conducted on the analysis of rock strength certificates, taking into account the fracture criteria presented in the Coulomb-Mohr model. The aim of the work was to make a qualitative transition from the properties of the samples to the characteristics of an intact rock mass. As a result of the performed research, results were obtained that can be used to optimize the design of dump slopes, increase their safety and protect the environment.

**Key words:** dump, internal friction angle, technogenic formations, stability safety factor, rocks, fissuring, slope angle.

### Введение

Борта, откосы и отвалы как основные элементы открытой динамической системы карьера изменяются в пространстве и во времени. Состояние массива горных пород зависит как от естественных, так и техногенных факторов, представленных на рис. 1 [1].

Как и устойчивость откосов природных сооружений, устойчивость откосов отвала в значительной степени зависит от изменения сопротивления сдвигу под воздействием различных факторов. Во ВНИИ под руководством профессора Г.Л. Фисенко были разработаны «Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров» и «Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» [2].

Решающее влияние на сопротивление сдвигу оказывает влажность породы. Наблюдения показывают, что влажность породы в отвалах часто значительно выше естественной [3]. Дополнительными источниками влаги в породе являются атмосферные и грунтовые воды, скапливающиеся в рабочей зоне отвала при неорганизованном дренаже, атмосферные и грунтовые воды, скапливающиеся в понижениях основания отвала, а также осадки, выпадающие на поверхность отвала.



**Рис. 1. Факторы, влияющие на устойчивость откосов и бортов карьера и отвалов.**

**Сурет 1. Карьер мен үйінділердің беткейлері мен бүйірлерінің тұрақтылығына әсер ететін факторлар.**  
**Figure 1. Factors affecting the stability of slopes and sides of quarries and dumps.**

В настоящее время большинство отвалов подвержено различным видам деформаций – от мелких трещин

до крупных оползней. По классификации профессора М.Е. Певзнера, на устойчивость отвалов влияют два основных фактора – природные и горнотехнические. Классификация Н.В. Мельникова учитывает большинство факторов, влияющих на отвалообразование: местоположение относительно карьера, число рабочих ярусов, способ механизации, число обслуживаемых вскрышных участков, рельеф местности, топография отвала [4].

Устойчивость отвалов является предметом длительных исследований в области проектирования откосов.

Механические свойства основания отвала являются внутренним влияющим фактором и не могут быть искусственно изменены, особенно мягкого фундамента с низкой несущей способностью. Под действием давления сыпучего материала откос отвала может скользить по гладкому основанию, что еще больше приведет к обрушению и вызовет регрессивный оползень. Обрушение склона откоса является неизбежным аспектом экономического проектирования откосов отвалов в горнодобывающей промышленности. Крупные оползни произошли на южном отвале карьера Antaibao Opencast Mine, восточном отвале карьера Pingshuo Opencast Mine, внешнем отвале на лигнитовой шахте South Field в Северной Греции, отвале Jianshan железного рудника Lanjian и т.д. из-за недостаточной несущей способности фундаментов, что представляет собой серьезную угрозу безопасности карьера и устойчивой эксплуатации. Следовательно, необходимо систематически изучать несущую способность фундамента, чтобы обеспечить безопасность и устойчивость отвалов [5, 6].

**Методика исследований**

Для успешного решения инженерных задач в области горного дела, помимо качественного анализа геомеханических процессов, требуется и их количественная оценка. Эта оценка может быть выполнена как на основе полевых замеров различных проявлений геомеханических процессов, так и через моделирование этих процессов с использованием современных компьютерных технологий. Кроме того, важно учитывать влияние различных факторов, таких как геологические и гидрогеологические условия, механические свойства горных пород и динамика воздействия на них. Анализ этих аспектов позволит более точно прогнозировать поведение геомеханических систем и принимать обоснованные решения при проектировании горных работ.

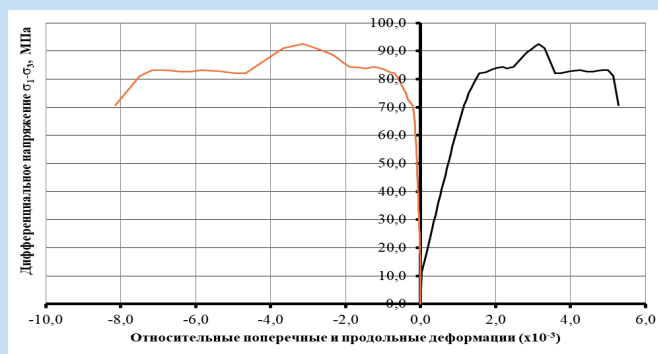
Более точные результаты по поставленной задаче могут быть достигнуты, если используемая расчетная схема и метод решения изначально учитывают все важные для исследования факторы. Наибольшую эффективность демонстрируют метод конечных элементов (МКЭ) и метод предельного равновесия (МПР). Эти методы позволяют глубже анализировать сложные системы, а также учитывать нелинейные свойства материалов, различные нагрузочные условия и геометрические особенности исследуемых объектов. МКЭ, например, предоставляет гибкость в моделировании сложных форм и неоднородностей, тогда как МПР помогает оценить устойчивость и безопасность сооружений при различных предельных состояниях [7].

В целом, использование этих методов значительно повышает точность и достоверность расчетов, что особенно важно в инженерной практике и научных исследованиях.

Анализ устойчивости бортов отвала был проведен с использованием метода конечных элементов в программном обеспечении RS-2 [8]. Результаты анализа включают в себя визуализацию распределения напряжений и деформаций, а также рекомендации по оптимизации проектирования для повышения устойчивости бортов отвала.

В условиях лаборатории были проведены испытания на растяжение, а также тесты на одноосное и трехосное сжатие горных пород. В результате этих исследований были определены такие характеристики, как модуль Юнга, плотность, влажность, сцепление и угол внутреннего трения [9]. Эти параметры важны для понимания механических свойств материалов и их поведения под воздействием различных нагрузок.

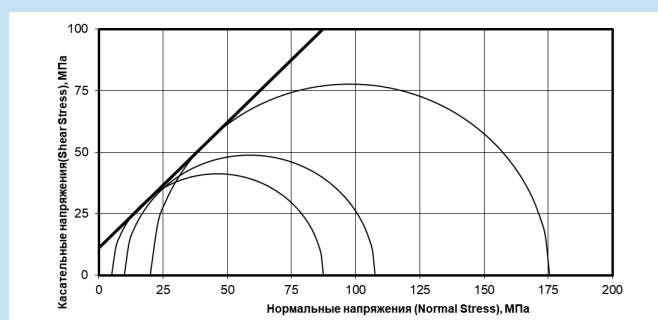
По результатам лабораторных исследований были определены относительные продольные и поперечные деформации (рис. 2) и построены паспорта прочности горных пород по критерию разрушения Кулон-Мора (рис. 3).



**Рис. 2. Результаты испытаний по определению относительных продольных и поперечных деформаций.**

**Сурет 2. Салыстырмалы бойлық және көлденең деформацияларды анықтау бойынша сынақ нәтижелері.**

**Figure 2. Results of the test to determine the relative longitudinal and transverse deformations.**



**Рис. 3. Паспорт прочности горных пород.**

**Сурет 3. Тау жыныстарының беріктігі паспорты.**

**Figure 3. Rock strength data sheet.**

Паспорта прочности горных пород разрабатываются с целью корреляции лабораторных испытаний и обеспе-

*Коррелированные прочностные свойства горных пород*  
*Тау жыныстарының корреляциялық беріктік қасиеттері*

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

*Correlated strength properties of rocks*

Паспорт прочности №	Всестороннее эффективное напряжение, МПа	Вертикальное эффективное напряжение, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
1	5	87,5	10,95	45,56
	10	107,67		
	20	175,42		
2	5	76,33	16,50	35,73
	10	113,12		
	20	136,98		
3	5	79,31	23,14	29,24
	10	129,35		
	20	130,06		
4	5	112,5	8,67	57,50
	10	185,95		
	20	291,95		
5	5	205,91	15,42	59,88
	10	219,47		
	20	402,06		

чения качественного перехода от физических свойств образца к характеристикам массива горных пород. В рамках создания паспорта прочности были определены значения сцепления и угла внутреннего трения для различных типов горных пород. Эти результаты были систематизированы и представлены в таблице 1. Данные из таблицы позволяют проводить анализ и прогнозировать поведение горных пород при различных геологических условиях, что является важным для проектирования инженерных сооружений и оценки устойчивости горных массивов.

### Результаты

При расчете использовались следующие параметры откосов ярусом отвалов и рудных складов:

- высота уступа – 10 м;
- ширина бермы – 10 м;
- угол – 35 градусов;
- генеральный угол – 21, 22, 24, 28 и 30 градусов.

На ниже представленных иллюстрациях (рис. 4 и рис. 5) показаны результаты расчетов, выполненных с использованием метода конечных элементов в программном обеспечении RS-2.

Остальные результаты численного моделирования, касающегося оценки коэффициента запаса устойчивости как бортов отвала, так и основания представлены в таблице 2.

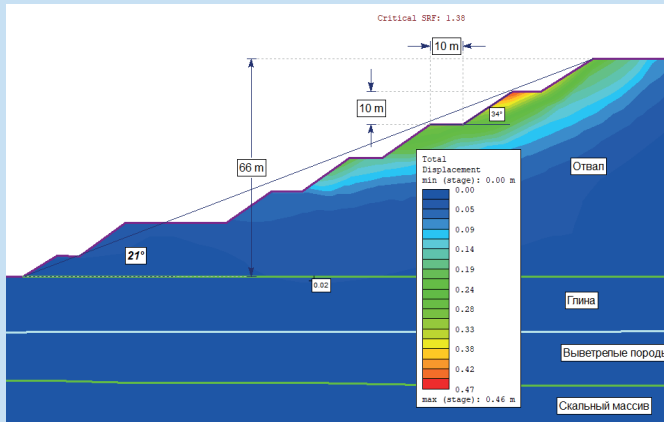
Минимально необходимый коэффициент запаса устойчивости для обеспечения общей устойчивости отвала,

согласно исследованиям Рида и Стейси, составляет 1,3. Это значение позволяет гарантировать устойчивость конструкций и предотвращает их разрушение в условиях различных внешних воздействий. Важно учитывать, что для достижения стабильности отвала необходимо не только соблюдать данный коэффициент, но и проводить регулярные мониторинги состояния конструкции, а также учитывать геологические и атмосферные факторы, которые могут повлиять на его устойчивость [10].

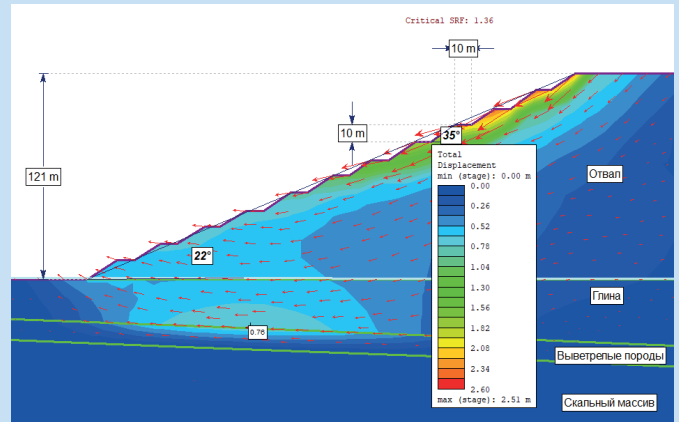
Максимально допустимое смещение по основанию составляет 1,0 м. Водоизмещение более 1,0 м считается значительным и требует дальнейшей рекультивации. Смещение более 1,0 м считается значительным и требует дальнейшей рекультивации.

На основе исследования физико-механических характеристик массива горных пород и результатов численного анализа, выполненного методом конечных элементов, была построена логарифмическая зависимость, представленная на рис. 6, между коэффициентом запаса устойчивости и двумя ключевыми параметрами: генеральным углом откоса и высотой отвала. Данная зависимость иллюстрирует, как изменение этих факторов влияет на устойчивость откосов, что является собой значимый аспект для проектирования и ведения горных работ.

Логарифмическая зависимость устанавливается с использованием метода наименьших квадратов (МНК), который заключается в минимизации суммы квадратов отклонений между наблюдаемыми данными и значениями,



**Рис. 4.** Результаты численного моделирования при генеральном угле 21 градусов.  
**Сурет 4.** Басты бұрышы 21 градус шамасында сандық модельдеу нәтижелері.  
**Figure 4.** Results of numerical simulation at a general angle of 21 degrees.



**Рис. 5.** Результаты численного моделирования при генеральном угле 22 градусов.  
**Сурет 5.** Басты бұрышы 22 градус шамасында сандық модельдеу нәтижелері.  
**Figure 5.** Results of numerical simulation at a general angle of 22 degrees.

Таблица 2

Сводная таблица результатов расчета на основе метода конечных элементов

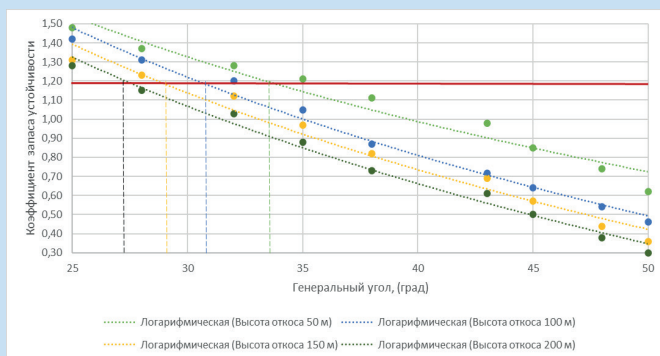
Кесте 2

Шекті элементтер әдісіне негізделген есептеу нәтижелерінің жиынтық кестесі

Table 2

Summary table of calculation results based on the finite element method

Секторы	КЗУ/FoS	Смещения оснований (м)	Примечание
Сектор 1	1,46	0,06	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 2	1,12	0,01	Критический КЗУ, незначительные смещения
Сектор 3	1,37	0,02	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 4	1,36	0,76	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 5	1,19	0,24	Критический КЗУ, незначительные смещения
Сектор 6	1,34	0,51	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения
Сектор 7	1,18	0,01	Критический КЗУ, незначительные смещения
Сектор 8	1,37	0,02	Приемлемый КЗУ, незначительные смещения



**Рис. 6.** График зависимости КЗУ от генерального угла и высоты откоса отвала.  
**Сурет 6.** ОҚК-нің үйінді көлбеуінің бас бұрышы мен биіктігіне тәуелділігінің графигі.  
**Figure 6.** Graph of the dependence of the KZU on the general angle and height of the slope of the dump.

предсказываемыми выбранной моделью. Данный метод позволяет найти параметры функции, которые наилучшим образом соответствуют исследуемым данным, обеспечивая тем самым оптимальное приближение к реальной зависимости. В результате применения МНК можно получить более точные прогнозы и выявить основные тенденции в данных.

**Выводы**

Проведен детальный анализ ранее проведенных исследований, касающихся физико-механических свойств горных пород, а также стабильности бортов отвала и основания. Основной целью этого анализа было получение более точных и надежных данных о структурных характеристиках и прочностных качествах различных типов горных пород.

В ходе численного анализа, проведенного с использованием конечно-элементного моделирования, были

интерпретированы результаты, касающиеся оценки напряженно-деформированного состояния техногенных образований. Также были установлены зависимости изменения коэффициента запаса прочности горных пород от различных значений их прочностных и деформационных характеристик. Эти результаты позволяют более глубоко понять влияние геологических условий на устойчивость горных массивов, что может оказать существенное влияние на безопасность и эффективность горных работ.

В результате тщательного анализа данных, полученных в ходе компьютерного моделирования, и применения аналитического метода наименьших квадратов был построен график, который позволяет точно оценивать коэффи-

циент запаса устойчивости в зависимости от изменения генерального угла и высоты откоса отвала. Этот график не только демонстрирует взаимосвязь между указанными параметрами, но и может служить практическим инструментом для инженерных расчетов, позволяя специалистам более эффективно прогнозировать поведение откосов в различных условиях эксплуатации.

#### **Благодарность**

*Статья опубликована в рамках конкурса на программно-целевое финансирование по научным, научно-техническим программам на 2024-2026 годы (ИРН – BR24992854), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов. Изд-во «Горная книга», 2017, С. 467 (на русском языке)
2. Макаров А.Б. Управление устойчивостью бортов карьеров как основа обеспечения ответа на глобальные вызовы. / А.Б. Макаров, Ливинский, В.И. Спириин, А.А. Павлович. // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2021. Вып. 3. С. 188-202 (на русском языке)
3. Обрегон Ч. Вероятностный подход к анализу устойчивости откосов карьерных уступов на примере карьера. / Ч. Обрегон, Х.Дж. Митри. // Горная наука и технологии. 2019. №29 (4). С. 629-640 (на английском языке)
4. Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. / Д.М. Казикаев, А.А. Козырев, Э.В. Каспарьян, М.А. Иофис. Издательство «Горная книга», 2016, 490 с. (на русском языке)
5. Цзян Дж. Расчет несущей способности мягкого основания отвалов на примере карьера. / Дж. Цзян, Х. Ян, Л. Цао, Д. Ван, Л. Ван, Ж. Цзя, Е. Лу, Ш. Ди. // Границы науки о Земле. 2022. Т. 10. Ст. №839659 (на английском языке)
6. Хуан Ф.М. Закон неопределенности при моделировании прогнозирования подверженности оползням: влияние различных границ оползней и выражений пространственной формы. / Ф.М. Хуан, Дж. Ян, Х.М. Фан, К. Яо, Дж.С. Хуан, У. Чен и др. // Границы науки о Земле. 2021. Т.13 (8). Ст. №101317 (на английском языке)
7. Ливинский И.С. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, обоснованная достаточность. / И.С. Ливинский, А.Б. Макаров. // Горный журнал. 2017. №8. С. 51-55 (на английском языке)
8. Мусин А. Снижение разубоживания руды при разработке рудных тел малой мощности за счет искусственного поддержания выработанного пространства. / А. Мусин, А. Имашев, А. Матаев, Е. Абеуов, Н. Шайке, А. Куттыбаев. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. Т. 17. №1. С. 35-42 (на английском языке)
9. Имашев А. Исследование напряженно-деформированного состояния массива под карьером с изменением ширины забоя карьера. / А. Имашев, А. Суимбаева, Ш. Зейтинова, Г. Жунусбекова, А. Куттыбаев, А. Мусин. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2022. Т. 16. №3. С. 61-66 (на английском языке)
10. Рымқұлова А.Б. Моделирование влияния обводнения массива на показатели устойчивости борта карьера. / А.Б. Рымқұлова, Ш.Б. Зейтинова, Д.К. Жумадилова, А.Е. Касымжанова. // Горный журнал Казахстана. 2024. №1. С. 43-48 (на казахском языке)

#### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Гальперин А.М. Ашық тау-кен жұмыстарының геомеханикасы: Жоғары оқу орындарына арналған оқулық. «Тау-кен кітабы» басылымы, 2017, Б. 467 (орыс тілінде)
2. Макаров А.Б. Жаһандық сын-қатерлерге жауап беруді қамтамасыз етудің негізі ретінде карьер бортының тұрақтылығын басқару. / А.Б. Макаров, И.С. Ливинский, В.И. Спириин, А.А. Павлович. // ТулГУ Жаңалықтары. Жер туралы ғылымдар. 2021. Т. 3. Б. 188-202 (орыс тілінде)
3. Обрегон Ч. Карьер жиектерінің беткейлерінің тұрақтылығын талдауға ықтималдық тәсіл. / Ч. Обрегон, Х.Дж. Митри. // Тау-кен ғылымы және технологиясы. 2019. №29 (4). Б. 629-640 (ағылшын тілінде)

4. Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кезіндегі геомеханикалық процестерді басқару: Оқу құралы. / Д.М. Қазикаев, А.А. Козырев, Э.В. Каспарян, М.А. Иофис. «Тау-кен кітабы» басылымы, 2016, 490 б. (орыс тілінде)
5. Цзян Дж. Карьер мысалында үйінділерінің жұмсақ негізінің жүк көтергіштігін есептеу. / Дж. Цзян, Х. Ян, Л. Цао, Д. Ван, Л. Ван, Ж. Цзя, Е. Лу, Ш. Ди. // Жер туралы ғылымдардағы шекаралар. 2022. №10. Мақ. №839659 (ағылшын тілінде)
6. Хуан Ф.М. Көшкінге ұшырауды болжауды модельдеудегі белгісіздік Заңы: әртүрлі көшкін шекаралары мен кеңістіктік пішін өрнектерінің әсері. / Ф.М. Хуан, Дж. Ян, Х.М. Фан, К. Яо, Дж.С. Хуан, У. Чен және басқалар. // Жер туралы ғылымдардағы шекаралар. 2021. №13 (8). Мақ. №101317 (ағылшын тілінде)
7. Ливинский И.С. Кешенді геомеханикалық модельдеу: құрылымы, геологиясы, негізделген жеткіліктілігі / И.С. Ливинский, А.Б. Макаров. // Тау-кен журналы. 2017. №8. Б.51- (ағылшын тілінде)
8. Мусин А. Өндірілген кеңістікті жасанды түрде ұстап тұру арқылы қуаты аз кен денелерін игеру кезінде кенді құнарсыздандуды азайту. / А. Мусин, А. Имашев, А. Матаев, Ю. Абеуов, Н. Шайке, А. Кутыбаев. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2023. Т. 17. №1. Б. 35-42 (ағылшын тілінде)
9. Имашев А. Карьер кенжарының ені өзгерген кезде карьер астындағы массивтің кернеулі деформацияланған күйін зерттеу. / А. Имашев, А. Суимбаева, Ш. Зейтинова, Г. Жүнісбекова, А. Құттыбаев, А. Мусин. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2022. Т. 16. №3. Б. 61-66 (ағылшын тілінде)
10. Рымқұлова А.Б. Массивтің сулануының ашық кеніш жағдауының тұрақтылық көрсеткіштеріне әсерін модельдеу. / А.Б. Рымқұлова, Ш.Б. Зейтинова, Жумадилова, Д.К. А.Е. Касымжанова. // Қазақстанның кен журналы. 2024. №1. Б. 43-48 (қазақ тілінде)

REFERENCES

1. Gal'perin A.M. Geomekhanika otkrytyh gornyh rabot: Uchebnik dlya vuzov. Izd-vo «Gornaya kniga», 2017, S. 467 [Galperin A.M. Geomechanics of open-pit mining: Textbook for universities. Publishing house «Mountain Book», 2017, P. 467] (in Russian)
2. Makarov A.B. Upravlenie ustojchivost'yu bortov kar'erov kak osnova obespecheniya otveta na global'nye vyzovy. / A.B. Makarov, I.S. Livinskij, V.I. Spirin, A.A. Pavlovich. // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. 2021. Вып. 3. S. 188-202 [Makarov A.B. Managing the stability of quarry walls as a basis for ensuring a response to global challenges. / A.B. Makarov, Livinsky, V.I. Spirin, A.A. Pavlovich. // News of Tula State University. Geosciences. 2021. Issue. 3. P. 188-202] (in Russian)
3. Obregon Ch. Probabilistic approach for open pit bench slope stability analysis – A mine case study. / Ch. Obregon, H. Mitri J. // Mining Science and Technology. 2019. №29 (4). P. 629-640 (in English)
4. Upravlenie geomekhanicheskimi processami pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh: Uchebnoe posobie. / D.M. Kazikaev, A.A. Kozyrev, E.V. Kaspar'yan, M.A. Iofis. Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2016, 490 s. [Management of geomechanical processes during the development of mineral deposits: Textbook. / D.M. Kazikaev, A.A. Kozyrev, E.V. Kasparian, M.A. Ioffis. Publishing house «Mountain Book», 2016, 490 p.] (in Russian)
5. Jiang J. Bearing Capacity Calculation of Soft Foundation of Waste Dumps – A Case of Open-Pit Mine. / Jiang J., Yang H., Cao L., Wang D., Wang L., Jia Zh., Lu Ye., Di Sh. // Frontiers in Earth Science. 2022. Vol. 10. Art. №839659 (in English)
6. Huang F.M. Uncertainty Law of Landslide Susceptibility Prediction Modelling: Effects of Different Landslide Boundaries and Spatial Shape Expressions. / Huang F.M., Yan J., Fan X.M., Yao C., Huang J.S., Chen W. et al. // Geoscience Frontiers. 2021. Vol. 13 (8). Art. №101317 (in English)
7. Livinskiy I.S. Complex geomechanical modeling: structure, geology, reasonable sufficiency. / Livinskiy I.S., Makarov A.B. // Mining magazine. 2017. №8. P. 51-55 (in English)
8. Mussin A. Reduction of ore dilution when mining low-thickness ore bodies by means of artificial maintenance of the mined-out area. / Mussin A., Imashev A., Matayev A., Abeuov Y., Shaik N., Kuttybayev A. // Mining of Mineral Deposits. 2023. Vol. 17. №1. P. 35- 42 (in English)
9. Imashev A. Research into stress-strain state of the mass under open pit with a change in the open-pit bottom width. / Imashev A., Suimbayeva A., Zeitinova Sh., Zhunusbekova G., Kuttybayev A., Mussin A. // Mining of Mineral Deposits. 2022. Vol. 16. №3. P. 61-66 (in English)
10. Rymkulova A.B. Modeling of the effect of flooding of the massif on the stability indicators of the side of the quarry. / A.B. Rymkulova, Sh.B. Zeitinova, D.K. Zhumadilova, A.E. Kasymzhanova. // Mining Journal of Kazakhstan. 2024. №1. P. 43-48 (in Kazakh)

**Сведения об авторах:**

**Имашев А.Ж.**, PhD, асс. профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [a.imashev@kstu.kz](mailto:a.imashev@kstu.kz); <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

**Нуршайықова Г.Т.**, к.т.н., ассоциированный профессор школы наук о Земле Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), [ahmadievag@mail.ru](mailto:ahmadievag@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9915-8315>

**Зейтинова Ш.Б.**, PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [sh.zeitinova@kstu.kz](mailto:sh.zeitinova@kstu.kz); <https://orcid.org/0000-0002-3489-8969>

**Тунгушбаева З.К.**, к.т.н., доцент, ученый секретарь филиала РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК» ВНИИцветмет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), [zuhra06@mail.ru](mailto:zuhra06@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1366-1196>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Имашев А.Ж.**, PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессорі, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Нұршайықова Г.Т.**, т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры (Өскемен қ., Қазақстан)

**Зейтинова Ш.Б.**, PhD, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Тунгушбаева З.К.**, т.ғ.к., доцент, «ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу Ұлттық орталығы» РМК филиалының ғылыми хатшысы ВНИИцветмет (Өскемен қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Imashev A.**, PhD, associate professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Nurshaiykova G.**, Cand. of tech. sc., Associate Professor of the Faculty of Earth Sciences D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

**Zeitinova Sh.**, PhD, acting associate professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Tungushbayeva Z.K.**, Cand. of tech. sc., Associate Professor, Scientific Secretary of filial agency of the National Center for Complex Processing of Mineral Raw Materials, VNIItsvetmet (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

# ВЫСТАВКА ВЕЗДЕХОДНОЙ ТЕХНИКИ

29 НОЯБРЯ - 1 ДЕКАБРЯ  
МОСКВА, ЦВК ЭКСПОЦЕНТР



0+

РЕКЛАМА



Код МРНТИ 38.49.31

M.V. Ponomareva<sup>1</sup>, \*Ye.V. Ponomareva<sup>1</sup>, A.T. Tungushbayeva<sup>1</sup>, D.A. Inkin<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University NJSC (Karaganda, Kazakhstan),  
<sup>2</sup>Qazaq Geophysics (QG) LLP (Karaganda, Kazakhstan)

## ASSESSMENT OF INDUSTRIAL SIGNIFICANCE OF THE SHEKTAS AND SURDZHAR SITES IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE ZHEKAZGAN DEPRESSION

**Abstract.** The article deals with the issues of prospecting, exploration and assessment of industrial significance of promising areas within the north-eastern part of the Zhezkazgan Depression. The main attention is paid to detailed geological and geophysical studies that were carried out at the Shektas and Surdzhar sites. During the prospecting work, a complex was used, including ground geological exploration studies, drilling of prospecting and mapping wells, laboratory studies and quantitative analysis of samples. As a result of the work carried out at the Surdzhar site, an increased content of lead and silver was revealed, gold-silver mineralization was revealed, points of mineralization of gallium and rare earth metals were identified. Based on the results of the studies, an assessment of the prospects of the sites for solid minerals was given.

**Key words:** Zhezkazgan Depression, mineral resources, exploration work, geological and geophysical research, exploration and mapping wells, laboratory research, sample analysis, mineralization points, gallium, rare earth metals.

### Жезқазған ойпатының солтүстік-шығыс бөлігіндегі «Шектас» және «Сурджар» учаскелерінің өндірістік маңыздылығын бағалау

**Аңдатпа.** Мақалада Жезқазған ойпатының солтүстік-шығыс бөлігіндегі перспективалық учаскелерді іздеу, барлау және өнеркәсіптік маңызын бағалау мәселелері қарастырылған. «Шектас» және «Сурджар» учаскелерінде жүргізілген егжей-тегжейлі геологиялық-геофизикалық зерттеулерге басты назар аударылды. Іздестіру жұмыстарын жүргізу кезінде жерүсті геологиялық барлау, іздеу-карталау ұңғымаларын бұрғылау, зертханалық зерттеулер мен сынамалардың сандық талдауын қамтитын кешен пайдаланылды. Сурджар учаскесінде жүргізілген жұмыстардың нәтижесінде қорғасын мен күмістің жоғарылауы анықталды, алтын-күміс минералдануы анықталды, галлий мен сирекжер металдарының минералдану жерлері анықталды. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша қатты пайдалы қазбалар бойынша аумақтардың перспективасына баға беріліп.

**Түйінді сөздер:** Жезқазған ойпаты, пайдалы қазбалар, іздеу жұмыстары, геологиялық-геофизикалық зерттеулер, іздеу-карталау ұңғымалар, зертханалық зерттеулер, үлгілерді талдау, галлий, сирекжер металдар.

### Оценка промышленной значимости участков «Шектас» и «Сурджар» северо-восточной части Жезказганской впадины

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы поиска, разведки и оценки промышленной значимости перспективных площадей в пределах северо-восточной части Жезказганской впадины. Основное внимание уделяется детальным геолого-геофизическим исследованиям, которые проводились на участках «Шектас» и «Сурджар». При проведении поисковых работ применялся комплекс, включающий наземные геологоразведочные исследования, бурение поисковых и картировочных скважин, лабораторные исследования и количественный анализ проб. В результате проведенных работ на участке «Сурджар» выявлено повышенное содержание свинца и серебра, вскрыто золото-серебряное оруденение, выявлены пункты минерализации галлия и редкоземельных металлов. По результатам проведенных исследований дана оценка перспективности участков на твердые полезные ископаемые.

**Ключевые слова:** Жезказганская впадина, полезные ископаемые, поисковые работы, геолого-геофизические исследования, поисково-картировочные скважины, лабораторные исследования, анализ проб, пункты минерализации, галлий, редкоземельные металлы.

### Introduction

In terms of quantity and diversity of resources, the mineral resource base of the Republic of Kazakhstan occupies one of the leading places in the world. The Republic is among the top ten countries in the world in terms of reserves of such solid minerals as lead, zinc, copper, chromium, iron, manganese, tin, gold, phosphorites, boron and potassium salts.

At the same time, some of the reserves of mineral raw materials are uncompetitive due to the decreasing of their quality. In addition, there is an insufficient replenishment of mined minerals that ensure the operation of the existing mining and metallurgical enterprises. In view of this, searching, exploration and assessment of the industrial significance of promising areas within the north-eastern part of the Zhezkazgan Depression is an urgent task. The area of the study territory is characterized by various genetic types of minerals. The group of ferrous metals is represented by mineralization points of iron and manganese; the group of non-ferrous metals by copper mineralization points, manifestations and mineralization points of lead and zinc; noble metals by gold ore and gold-silver mineralization. In addition, there are rare metals, trace and rare earth elements and the other non-metallic minerals [1, 2, 3].

Detailed geological and geophysical studies were carried out at the Shektas and Surdzhar sites. The studies within these

sites were justified by geological and geophysical features, as well as by the results of previous work [4, 5].

The area of the Shektas site is 18.7 km<sup>2</sup>. Within the site, stratified formations of the Upper Tournaisian-Lower Visean stages of the Lower Carboniferous, the Pavlodar Formation of the Miocene-Pliocene, deposits of the Quaternary system and granitoids of the Early Devonian Karamendy and Middle Devonian Terekty complexes are developed from the surface.

From bottom to top along the section, stratified formations of different ages in the area are represented by carbonate deposits of the Upper Tournaisian-Lower Visean stages of the Lower Carboniferous ( $C_{1t_2-v_1}$ ), the Pavlodar Formation ( $N_{1-2pv}$ ), the middle-upper link ( $Q_{II-III}$ ) and the upper link-Holocene of the Quaternary ( $Q_{III-IV}$ ) system.

The Upper Tournaisian-Lower Visean deposits of the Lower Carboniferous are exposed as narrow ridges of sublatitudinal strike in the central part of the site over a small area and are represented by organogenic silicified cavernous limestones and marls.

The Pavlodar Formation is mapped in the eastern part of the site and is represented by red-brown clays with iron-manganese concretions.

The Quaternary deposits occupy the main area of the site and are represented by proluvial-deluvial deposits of trains ( $Q_{II-III}$ ) composed of loams with granitoid and terrigenous

rock gruss and alluvial-proluvial deposits composed of sandy loams, loams with granitoid and terrigenous rock gruss ( $Q_{III-IV}$ ).

Intrusive rocks are mapped in the northern part of the site. They are represented by granodiorites of the Early Devonian Karamendy complex and leucogranites of the Middle Devonian Terekty complex.

The area of the Surdzhar site is 22.9 km<sup>2</sup>. Within the site, stratified formations of the Upper Ordovician, Lower Devonian, Neogene and Quaternary systems are developed. Intrusions are represented by granodiorites of the Early Devonian Karamendy complex.

From bottom to top along the section, stratified formations of different ages in the area are represented by: conglomerate-sandstone sequence of the Upper Ordovician ( $O_3kp$ ), upper subformation of the Utzhan Formation of the Lower Devonian ( $D_1ut_3$ ), lower subformation of the Taranshi Formation of the Lower Devonian ( $D_1tr_1$ ), upper subformation of the Taranshi Formation of the Lower Devonian ( $D_1tr_2$ ), Zheltymes Formation of the Lower Devonian ( $D_1zl$ ), Zhamansarysu Formation of the Neogene ( $N_1zs$ ), middle-upper link of the Quaternary system ( $Q_{II-III}$ ) and the modern link of the Quaternary system ( $Q_{IV}$ ).

Conglomerate-sandstone ( $O_3kp$ ) is exposed in the south-western corner of the area. The sequence is composed of conglomerates with interlayers of gravelstones and sandstones.

The upper subformation of the Utzhan Formation ( $D_1ut_3$ ) is mapped in the northwestern corner of the area. The structure of the formation includes inequigranular polymictic sandstones with conglomerate interlayers.

The lower subformation of the Taranshi Formation ( $D_1tr_1$ ) is exposed in the northwestern and southwestern parts of the area. The subformation is mainly composed of conglomerates and tuff conglomerates of andesitic composition. The upper subformation of the Taranshi Formation ( $D_1tr_2$ ) is developed in the central part of the area and is mainly composed of andesites.

The Zheltymes Formation ( $D_1zl$ ) is mapped in the western part of the area and is mainly composed of large-porphyry dacites.

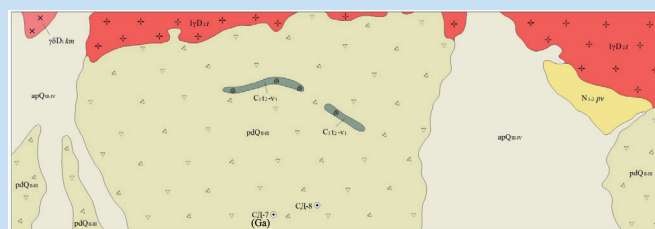
The Zhamansarysu Formation ( $N_1zs$ ) is exposed as a narrow strip in the northwestern part of the area. The formation consists of greenish-gray clays with gypsum inclusions.

The Quaternary deposits ( $Q_{II-III}$ ) are developed within the entire area of the site and are represented by proluvial-deluvial loams, sandy loams with volcanic rubble and granitoid gruss. The Quaternary deposits ( $Q_{IV}$ ) form a lake basin in the south-western part of the site. Lake deposits are represented by clays, sandy loams, and sands with gruss.

Geological maps of the sites (Tarasov I.A., Glukhov A.M., 2022) with additions from the authors are presented in Figures 1, 2.

*The purpose of the study.* Assessment of the prospects of areas for solid minerals, studying geological patterns of their location.

*Objectives of the study.* Conducting detailed exploration work on the Shektas and Surdzhar sites of the north-eastern part of the Zhezkazgan Depression, identifying increased con-



### Legend

apQ <sub>III-IV</sub>	Quaternary system. Upper link - Holocene. Alluvial-proluvial deposits. Sandy loams, loams, gruss, crushed stone	▽ ▽	Granitoid rubble. Crushed siliceous rocks
pdQ <sub>II-III</sub>	Quaternary system. Middle-upper links. Proluvial-deluvial deposits of trains. Loams, gruss, crushed stone	+ +	Leucogranites
N <sub>1-2</sub> pv	Neogene system. Pavlodar formation. Miocene-Pliocene. Red-brown clays with iron-manganese concretions	x x	Granodiorites
C <sub>1</sub> T <sub>2-V1</sub>	Carboniferous system. Upper Tournaisian-Lower Viséan stages. Silicified marls, silicified and porous limestones	—	Geological boundaries
17D <sub>2f</sub>	Terekty complex. Leucocratic medium-grained and medium-coarse-grained granites	CD-7	Exploration boreholes and their numbers
78D <sub>1</sub> km	Karamendy complex. Medium-grained granodiorites	⊙	Places of collection of fossil fauna

**Figure 1. Geological map of the Shektas site with minerals.**

**Сурет 1. «Шектес» учаскесінің пайдалы қазбалары бар геологиялық картасы.**

**Рис. 1. Геологическая карта участка «Шектас» с полезными ископаемыми.**

tents of ore elements and mineralization points, assessing their industrial significance.

### Research methods

Within the north-eastern part of the Zhezkazgan Depression, the following exploration works were performed: deep geochemical exploration with core and cuttings collection from blastholes was carried out along the lines of seismic profiles; exploration and mapping drilling was carried out along the lines of seismic profiles and within the detailed areas; exploration works were carried out using a geological and geophysical complex at two detailed areas: Shektas and Surdzhar.

In the course of exploration works at the Shektas and Surdzhar areas, the following complex of geological and geophysical works was performed: topographic and geodetic breakdown of profiles; electrical exploration; exploration drilling; GIS (inclinometry, calipermetry, gamma logging, SP log, self-potential, MS log, MPE); charge method; sampling (collection of core and geochemical samples, collection of samples for determination of physical properties, collection of thin sections); sample preparation; laboratory studies (semi-quantitative spectral analysis, description of thin sections, determination of density and magnetic susceptibility) [6, 7, 8].

In the course of studying the Surdzhar site, additional prospecting and mapping drilling and atomic absorption analysis of samples for Au and Ag were carried out [9].

### Research results and discussion

At the Shektas site, as a result of the ground geological exploration work (search routes, NFS electrical exploration), the locations for two exploration wells SD-7 and SD-8 were selected.

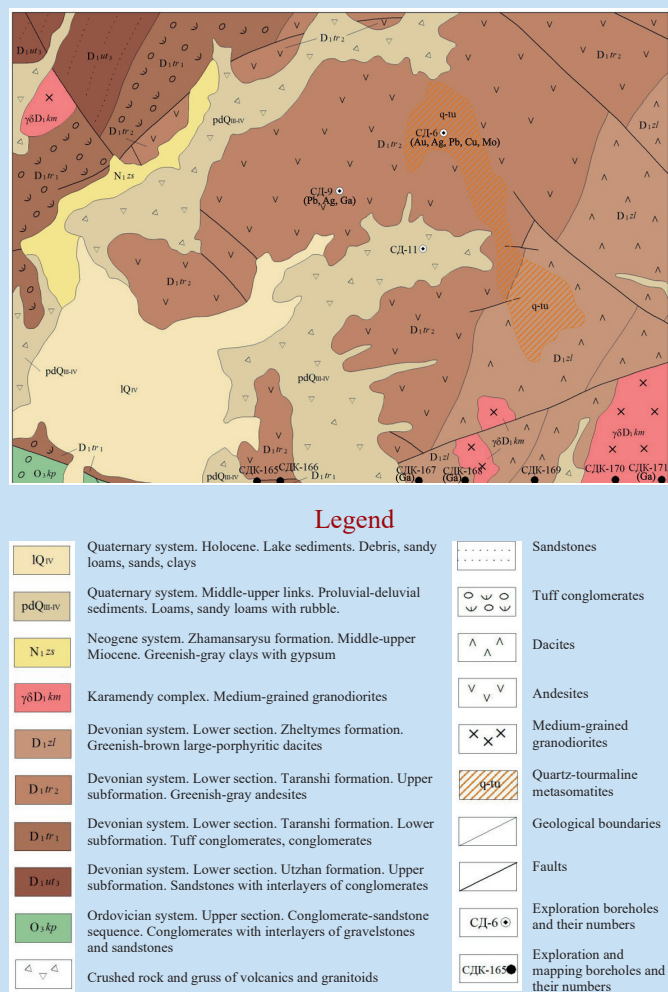


Figure 2. Geological map of the Surdzhar site with minerals.

Сурет 2. «Сурджар» учакесінің пайдалы қазбалары бар геологиялық картасы.

Рис. 2. Геологическая карта участка «Сурджар» с полезными ископаемыми.

When drilling those wells, sections of the Cenozoic deposits and the Upper Viscean substage of the Lower Carboniferous were opened. They are represented by loams, clays, as well as siltstones, sandstones, argillites and limestones with calcite veins and rare pyrite mineralization. In brownish-brown clays (well SD-7), the increased gallium content of 0.01% was noted. This is shown on the geological map of the Shektas site (Figure 1).

The locations of seven exploration and mapping wells (SDK-165, SDK-166, SDK-167, SDK-168, SDK-169, SDK-170, SDK-171) and three exploration wells (SD-6, SD-9, SD-11) in the Surdzhar area were selected at points where, as a result of ground electrical exploration work performed using the IPEVS method, polarizability anomalies with the intensity of 1-2% were observed.

According to the results of laboratory studies of samples taken from wells SDK-166, SDK-169, SDK-170, SD-11, elevated contents of useful elements were not revealed. According to the results of quantitative analysis of samples taken from prospecting and mapping well SDK-167, in beresitoid-type metasomatites on medium-composition tuffs of the Zheltymes

Formation of the Lower Devonian, the gallium content reaches values of 0.005-0.006%; in well SDK-168, in clays of the Zhamansarysu formation (*N<sub>1,23</sub>*), the gallium content reaches is 0.006%; in metasomatites on medium-composition tuffs of the Zheltymes Formation of the Lower Devonian (*D<sub>1.zl</sub>*), the gallium content reaches values of 0.005-0.007%; In borehole SDK-171, in the clayey-rubble weathering crust on hornfels, the gallium content reaches – 0.006%; in hornfels on volcanics of the Zheltymes Formation of the Lower Devonian, the gallium content reaches values of 0.005-0.007%.

According to the results of laboratory studies in the SD-6 exploration borehole, increased gold contents were found in the volcanic rocks of the Taranshi Formation and in the metasomatites on them. Silver mineralization is observed practically along the entire borehole. In addition, isolated intervals with the increased lead content of up to 0.15%, copper up to 0.26%, and molybdenum up to 0.02% are noted in the borehole.

According to the results of semi-quantitative spectral analysis of samples taken from borehole SD-9, elevated lead and silver content was revealed in rhyolite (rhyodacites) tuffs. In some intervals along the borehole, elevated gallium contents were noted in volcanics up to 0.007-0.008%. This is shown on the geological map of the Surdzhar site (Figure 2).

Gallium mineralization was noted in metasomatites on the Lower Devonian volcanics (4 mineralization points); in clayey-rubble weathering crust on Lower Devonian volcanics and granitoids of the Karamendy complex (2 mineralization points); in sandy-clayey sediments of the Paleogene-Neogene age (8 mineralization points).

As a result of deep geochemical prospecting, buried halos of rare earth metals (the sum of *Ce, La* and *Y*), gallium, lithium and mercury were revealed. Mineralization of rare earth metals has been noted in the clayey-gravelly weathering crust of sedimentary deposits of the Beleuta Formation of the Lower-Middle Carboniferous, the Zhidelisai Formation of the Lower Permian, and marls of the Kengir Formation of the Lower-Upper Permian (4 mineralization points); in sandy-clayey deposits of the Paleogene-Neogene age (8 mineralization points) [10].

Conclusions

Detailed geological and geophysical studies were carried out at the Shektas and Surdzhar sites.

According to the results of semi-quantitative spectral analysis in two exploration wells SD-7 and SD-8 at the Shektas site, no increased contents of ore elements were detected. As a result of the complex of geological and geophysical works carried out at the Shektas site, it can be concluded that it is unpromising.

At the Surdzhar site (well SD-9), an increased content of lead and silver was detected in the rhyolite (rhyodacites) tuffs of the Upper Taranshi subformation of the Lower Devonian. During the testing of electric field anomalies by drilling operations at the Surdzhar site, gold-silver mineralization (Surdzhar ore occurrence) was discovered and its resources were estimated according to the *P<sub>3</sub>* category, using the results of geophysical work by the charge method carried out in the well. According to the results of prospecting and mapping drilling, 14 points of gallium mineralization and 12 points of rare earth metals (according to the sum of *Ce, La* and *Y*), gallium, lithium and mercury were identified.

## REFERENCES

1. Zavrzhnov V.N i dr. Geologicheskaya karta SSSR m-ba 1:50000 yuzhnoi chasti Sarysu- Tenizskogo rudnogo raiona. Terektinskaya gruppa 16 listov: M-42-113-V, -G; -114-V, -G; -125-A, -B, -V, -G; -126-A, -B, -V, -G; -137-A, -B; -138-A, -B: TsKPGO, MGU TsKE, 1987 [Zavrzhnov V.N. et al. Geological map of the USSR, scale 1:50000, of the southern part of the Sarysu-Teniz ore region. Tereky group, 16 sheets: M-42-113-V, -G; -114-V, -G; -125-A, -B, -V, -G; -126-A, -B, -V, -G; -137-A, -B; -138-A, -B, TsKPGO, MSU TsKE, 1987] (in Russian)
2. Iverskaya A.P., Magretova L.I. Otchet o rezul'tatakh GDP-200 na territorii listov M-42-XXXII, -XXXIII v 2008-2010 gg., TOO «Tsentrgeols'emka», 2010 [Iverskaya A.P., Magretova L.I. Report on the results of the GDP-200 on the territory of sheets M-42-XXXII, -XXXIII in 2008-2010, «Tsentrgeols'emka» LLP, 2010] (in Russian)
3. Syr'evaya baza svintsa i tsinka, medi, zolota Kazakhstana. // Materialy seminar-soveshchaniya. Almaty, 2002 [Raw material base of lead and zinc, copper, gold of Kazakhstan. // Proceedings of a seminar-meeting. Almaty, 2002] (in Russian)
4. Ponomareva M.V. Identifying promising areas within the Zhezkazgan depression by a complex of geological and geophysical studies / M.V. Ponomareva, Ye.V. Ponomareva, A.T. Tungushbayeva, D.A. Inkin. // Mining journal of Kazakhstan. 2024. №5. P. 25-29 (in English)
5. Baibatsha A.B. Geologiya mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: uchebnik. Almaty: KazNITU, 2019, S. 432 [Baibatsha A.B. Geology of mineral deposits: textbook. Almaty: KazNITU, 2019, P. 432] (in Russian)
6. Clark D., Robinson E.A. Basic geophysics: Society of Exploration Geophysicists, 2018, P. 386 (in English)
7. Fehler M.C., Toksoz M.N., Wang H.N. Borehole acoustic logging – theory and methods: Springer, 2020, P. 325 (in English)
8. Reva M.V., Portnov V.S. et al. Field Theory. Part two. Electric and Magnetic Fields: tutorial. Karaganda: Abylkas Saginov KTU NJSC Publishing House, 2022, P. 60 (in English)
9. Encyclopedia of geochemistry. A comprehensive reference source on the chemistry of the Earth. / W.H. Casey, B. Marty, W.M. White, H. Yurimoto. Springer, 2018, 1573 p. (in English)
10. Redkie metally i redkie zemli Kazakhstana: nauchnoe izdanie. / rets. N.S. Seitov. Almaty: KazGEO, 2011, S. 89 [Rare metals and rare earths of Kazakhstan: scientific publication. / Reviewed by S. Seitov. Almaty: KazGEO, 2011, P. 89] (in Russian)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Завражнов В.Н және т.б. Сарысу-Теңіз кен ауданының оңтүстік бөлігінің 1:50000 масштабтағы ССРО геологиялық картасы. Теректі тобы. 16 бет: М-42-113-В,-Г;-114-В,-Г; -125-А,-Б,-В,-Г; -126-А,-Б,-В,-Г;-137-А,-Б; -138-А,-Б, ЦКПГО, МГУ ЦКЭ, 1987 (орыс тілінде)
2. Иверская А.П., Магретова Л.И. 2008-2010 жж. М-42-XXXII, -XXXIII беттер аумағында АГМ-200 нәтижелері бойынша есептеме., ЖШС «Центргеолсьемка», 2010 (орыс тілінде)
3. Қазақстанның алтын, мыс, мырыш, қорғасын шикізат базасы. // Семинар-кеңес материалдары. Алматы, 2002 (орыс тілінде)
4. Пономарева М.В. Геологиялық-геофизикалық зерттеулер кешенін пайдалана отырып, Жезқазған ойпаты шегіндегі перспективалық аймақтарды анықтау. / М.В. Пономарева, Е.В. Пономарева, А.Т. Тунгушбаева, Д.А. Инкин. // Қазақстанның таукен журналы. 2024. №5. С. 25-29 (ағылшын тілінде)
5. Байбатша А.Б. Пайдалы қазбалар кен орындарының геологиясы: оқулық. Алматы: ҚазГЗТУ, 2019, Б. 432 (орыс тілінде)
6. Кларк Д., Робинсон Э. Іргелі геофизика: «SEG» басылымы, 2018, Б. 386 (ағылшын тілінде)
7. Фелер М.К., Токсоз М.Н., Ван Х.Н. Ұңғымалардың акустикалық каротажы – теориясы мен әдістері: «Springer» баспасы, 2020, Б. 325 (ағылшын тілінде)
8. М.В. Рева, В.С. Портнов және басқалар. Өріс теориясы. Екінші бөлім. Электрлік және магнитті өріс: оқу құралы. Қарағанды: «Қарту Әбілқас Сағынов атындағы КЕАҚ баспасы», 2022, Б. 60 (ағылшын тілінде)
9. Геохимия энциклопедиясы. Жер химиясы бойынша кешенді нұсқаулық. / В.Х. Кейси, Б. Марти, В.М. Уайт, Х. Юримото. «Springer» баспасы, 2018, 1573 б. (ағылшын тілінде)
10. Қазақстанның сирек металдары және сирек жерлер: ғылыми басылым. / рец. Н.С. Сеитов. Алматы: КазГЕО, 2011, Б. 89 (орыс тілінде)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Завражнов В.Н и др. Геологическая карта СССР м-ба 1:50000 южной части Сарысу-Тенизского рудного района. Теректинская группа 16 листов: М-42-113-В,-Г;-114-В,-Г; -125-А,-Б,-В,-Г; -126-А,-Б,-В,-Г;-137-А,-Б; -138-А,-Б: ЦКПГО, МГУ ЦКЭ, 1987 (на русском языке)
2. Иверская А.П., Магретова Л.И. Отчет о результатах ГДП-200 на территории листов М-42-XXXII, -XXXIII в 2008-2010 гг., ТОО «Центргеолсъемка», 2010 (на русском языке)
3. Сырьевая база свинца и цинка, меди, золота Казахстана. // Материалы семинара-совещания. Алматы, 2002 (на русском языке)
4. Пономарева М.В. Выявление перспективных площадей в пределах Жезказганской впадины комплексом геолого-геофизических исследований / М.В. Пономарева, Е.В. Пономарева, А.Т. Тунгушбаева, Д.А. Инкин. // Горный журнал Казахстана. 2024. №5. С. 25-29 (на английском языке)
5. Байбатша А.Б. Геология месторождений полезных ископаемых: учебник. Алматы: КазННТУ, 2019, С. 432 (на русском языке)
6. Кларк Д., Робинсон Е. Фундаментальная геофизика: Издательство «SEG», 2018, С. 386 (на английском языке)
7. Фелер М.К., Токсоз М.Н., Ван Х.Н. Акустический каротаж скважин – теория и методы: Издательство «Springer», 2020, С. 325 (на английском языке)
8. Рева М.В., Портнов В.С. и др. Теория поля. Часть вторая. Электрические и магнитные поля: учебное пособие. Караганда: Издательство НАО «КарТУ имени Абылкаса Сагинова», 2022, С. 60 (на английском языке)
9. Энциклопедия геохимии. Комплексный справочник по химии Земли. / В.Х. Кейси, Б. Марти, В.М. Уайт, Х. Юримото. Издательство «Springer», 2018, 1573 с. (на английском языке)
10. Редкие металлы и редкие земли Казахстана: научное издание. / рец. Н.С. Сеитов. Алматы: КазГЕО, 2011, С. 89 (русский язык)

## Information about the authors:

**Ponomareva M.V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Geology and Exploration of Mineral Deposits Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC (Karaganda, Kazakhstan), [mv\\_ponomareva18@mail.ru](mailto:mv_ponomareva18@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8652-9607>

**Ponomareva Ye.V.**, PhD, acting Associate Professor of the Geology and Exploration of Mineral Deposits Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC (Karaganda, Kazakhstan), [sea\\_kitten\\_1@mail.ru](mailto:sea_kitten_1@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1322-6773>

**Tungushbayeva A.T.**, doctoral student of the Geology and Exploration of Mineral Deposits Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC (Karaganda, Kazakhstan), [nur.sa@mail.ru](mailto:nur.sa@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4749-7785>

**Inkin D.A.**, Technical Director of the «Qazaq Geophysics» LLP (Karaganda, Kazakhstan), [idima@yandex.ru](mailto:idima@yandex.ru); <https://orcid.org/0009-0008-4959-8038>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Пономарева М.В.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доценті, т.ғ.к. (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Пономарева Е.В.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцентінің м. а., PhD (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Тунгушбаева А.Т.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Инкин Д.А.**, «Qazaq Geophysics» ЖШС техникалық директор (Қарағанды қ., Қазақстан)

## Сведения об авторах:

**Пономарева М.В.**, к.т.н., доцент кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Пономарева Е.В.**, PhD, и.о. доцента кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Тунгушбаева А.Т.**, докторант кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Инкин Д.А.**, технический директор ТОО «Qazaq Geophysics» (г. Караганда, Казахстан)

# 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 36.29.27

Г. Мейрамбек<sup>1</sup>, \*Д.Ж. Рахимбаева<sup>2</sup>, К.Б. Рысбеков<sup>1</sup>, А. Ержанқызы<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

<sup>2</sup>Международная Образовательная Корпорация. Казахская головная Архитектурно-Строительная Академия (КазГАСА) (г. Алматы, Казахстан)

## МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ ВОДНОГО ИНДЕКСИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

**Аннотация.** В статье представлен анализ изменений береговой линии Каспийского моря, проведенный методом водного индексирования на основе геопространственных данных. Исследование основано на использовании снимков Landsat 4,5,8 TM: многозональный (архивированный набор изображений в формате GeoTIFF) и синтезированный снимок в натуральных цветах в формате JPEG с координатной привязкой, разрешение снимков 30 м. Период с 1990 по 2021 года – август месяц, с минимальным содержанием облачности (< 5%) или безоблачные. Метод водного индексирования позволил определить и количественно оценить динамику береговой линии, выявив зоны эрозии и аккумуляции. Использование ГИС-технологий для сбора и хранения полученной информации в единой базе данных позволяет выполнять своевременный пространственный анализ всей исследуемой территории.

**Ключевые слова:** уровень воды, море, цикл, прибрежная зона, населенные пункты, колебание уровня, экосистема, береговая линия, космический снимок, период.

**Геокеңістіктік деректер негізінде су индексіне әдісімен Каспий теңізінің жағалау сызығының өзгеруін мониторингтеу**

**Аңдатпа.** Мақалада геокеңістіктік деректер негізінде суды индексіне әдісімен жүргізілген Каспий теңізінің жағалау сызығының өзгерістерін талдау ұсынылған. Зерттеу Landsat 4,5,8 TM суреттерін қолдануға негізделген: көп аймақты (GeoTIFF форматындағы мұрағатталған кескіндер жиынтығы) және JPEG координаталық форматындағы синтезделген табиғи түсті сурет, 30 м суреттің ажыратымдылығы 1990-2021 жылдар аралығында тамыз айы, ең аз бұлтты (< 5%) немесе бұлтсыз. Суды индексіне әдісі эрозия мен жинақтау аймақтарын анықтау арқылы жағалау сызығының динамикасын анықтауға және сандық анықтауға мүмкіндік берді. Алынған ақпаратты бірыңғай дерекқорда жинау және сақтау үшін ГИС технологияларын пайдалану бүкіл зерттелетін аумақты уақтылы кеңістіктік талдауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** су деңгейі, теңіз, цикл, жағалау аймағы, елді мекендер, деңгейдің ауытқуы, экожүйе, жағалау сызығы, спутниктік сурет, кезең.

### Monitoring of changes in the coastline of the Caspian Sea by the method of water indexing based on geospatial data

**Abstract.** The article presents an analysis of changes in the coastline of the Caspian Sea, carried out by the method of water indexing based on geospatial data. The study is based on the use of Landsat 4,5,8 TM images: a multi-zone (archived set of images in GeoTIFF format) and a synthesized image in natural colors in JPEG format with a coordinate reference, the resolution of the images is 30 m. The period from 1990 to 2021 is the month of August, with a minimum cloud content (< 5%) or cloudless. The method of water indexing made it possible to determine and quantify the dynamics of the coastline, identifying zones of erosion and accretion. The use of GIS technologies to collect and store the information received in a single database allows for timely spatial analysis of the entire study area.

**Key words:** water level, sea, cycle, coastal zone, settlements, level fluctuation, ecosystem, coastline, space image, period.

### Введение

Исследование колебания уровня Каспийского моря является актуальной проблемой на сегодняшний день. Каспийское море испытывает значительные колебания уровня воды, что может приводить к затоплению прибрежных территорий или к образованию новых земель. В некоторых районах наблюдается ускоренная эрозия береговой линии, что приводит к потере земель и повреждению инфраструктуры. Антропогенная деятельность, включая сброс сточных вод и загрязнение нефтяными продуктами, также негативно сказывается на экологии Каспийского моря и оказывает существенное влияние на флуктуацию береговой линии. Помимо этого, состояние колебания воды может влиять на местные экосистемы, включая места обитания многих видов рыб и птиц, что также непосредственно затрагивает биоразнообразие региона. Следовательно, обнаружение водных объектов и последующий контроль являются важным процессом в научных и практических исследованиях. Фактически в настоящее время отсутствует мониторинг водных объектов, который показывает изменение числа водных объектов и их площади, береговой линии и их типа. Вышеперечисленные проблемы решаются путем использования данных дистанционного зондирования, что позволит определять множество характеристик окружающей среды, без соприкосновения с объектом исследования [1].

В рамках проекта для комплексного мониторинга изменения положения береговой линии Каспийского моря

применяются работы по: изучению геоинформационной составляющей объекта исследования; проведению периодических серий наблюдений за изменением береговой линии с использованием методики дешифрования многогоспектральных изображений ГНСС спутников Landsat; определению водных объектов и построению водных масок для дальнейшего анализа изменения колебания воды. Объектом исследования является Казахстанская часть Каспийского моря [2].

Использование методов водного индексирования и геопространственных данных позволяет получать актуальные и точные сведения о состоянии береговой линии. Это способствует развитию технологий дистанционного зондирования и их применению в различных областях науки и практики.

### Методы исследования

Обработка данных осуществлялась в ArcGIS с применением инструмента NDWI (Normalized Difference Water Index) для вычисления водного индекса из многозональных спутниковых изображений. Полученные результаты были проанализированы с помощью инструментов пространственной статистики ArcGIS для оценки динамики береговой линии. Данный комплекс позволяет провести фотограмметрическую обработку данных дистанционного зондирования земли, а также выполнять дальнейший анализ с использованием аналитических функций ГИС. Полная

интеграция с ArcGIS позволяет провести быстрое преобразование пространственно-координированных растровых данных из одной картографической проекции в другую, выполнить трансформирование и координатную привязку изображения, конвертацию из растрового в векторный формат и наоборот [3].

Поиск водных объектов на основе многоспектральных изображений позволяет обнаруживать их по характеристикам отражательной способности природных объектов. Водные объекты характеризуются самым низким значением коэффициента среди других природных объектов. При этом все другие природные объекты, даже находясь в состоянии увлажнения, имеют больший коэффициент отражения. Этот факт используется при обнаружении водных объектов на измеренном изображении.

Для исследования использовались снимки Landsat 4,5,8 TM: многозональный (архивированный набор изображений в формате GeoTIFF) и синтезированный снимок в натуральных цветах в формате JPEG с координатной привязкой, разрешение снимков 30 м. Период с 1990 по 2021 года – август месяц, с минимальным содержанием облачности (< 5%) или безоблачные.

Снимки, использованные в рамках проекта, были адаптированы при помощи сервиса USGS Геологической службы США. Уровень обработки исходного многозонального космического снимка – L1. Подобный уровень обработки снимков Landsat позволяет обеспечивать их геометрическую и радиометрическую коррекцию с применением цифровых моделей рельефа (земная коррекция). Выходная картографическая проекция UTM, координатная система отсчета WGS-84.

Оценка точности осуществлялась посредством космических снимков Махаг, предоставленных компанией Digital Globe в соответствии с запросом для научно-исследовательских целей. Компания Digital Globe является мировым лидером в области производства спутниковых оптических изображений и геоинформаций. Разрешение снимков составляет 50 см.

Диапазон измеряемых электромагнитных волн варьирует от 10-10 м (коротковолновое космическое излучение) до 1010 метров (радиоволны). Возможность идентификации и классификации объектов основывается на том, что объекты разных типов – горные породы, почвы, водные поверхности, растительность и т.д., по-разному отражают и поглощают электромагнитное излучение в том или ином диапазоне длин волн [4]. Для исследования были использованы многоканальные снимки, сделанные американским спутником Landsat [5], который имеет 11 каналов съемки с разными диапазонами длин волн (табл. 1).

Особенность многоканальных снимков заключается в том, что зная особенности волновых характеристик каналов и их комбинаций, можно получить интересующую нас информацию о свойствах различных географических и экологических объектов. Однако, для разных моделей спутников Landsat комбинации каналов не одинаковы [5], что связано с усовершенствованием и доработкой каждого последующего запущенного аппарата. Поскольку все получаемые со спутника данные представляют собой не что иное, как мультиспектральные изображения, для получения заключенной в них информации требуется интерпретировать полученные данные и выявить их физический смысл. Этап анализа данных ДЗЗ, главной задачей которого является распознавание и идентификация объектов, обнаруженных на снимке, называется дешифровкой изображения.

При проведении обработки мультиспектрального снимка часто выполняют преобразования, которые строят «индексные» изображения. На основе математических данных с матрицами значений яркости в определенных каналах создают растровое изображение, значениям пикселей присваивается «спектральный индекс».

Процесс поиска водных объектов на основе набора измеренных многоспектральных изображений позволяет обнаруживать их по характеристикам отражательной способности природных объектов [6, 7]. Водные объекты

Таблица 1

**Многоспектральные индексы, используемые для определения водных объектов**

Кесте 1

**Су объектілерін анықтау үшін қолданылатын мультиспектрлік индекстер**

Table 1

**Multispectral indexes used to identify water bodies**

ИНДЕКС	ФОРМУЛА РАСЧЕТА	ДИАПАЗОН ЗНАЧЕНИЙ
Normalized Difference Water Index	$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	Вода имеет положительное значение
Normalized Difference Moisture Index	$NDMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$	Вода имеет положительное значение
Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR}$	Вода имеет положительное значение
Water Ratio Index	$WRI = \frac{GREEN + RED}{NIR + MIR}$	Вода имеет значение больше 1
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Вода имеет отрицательное значение



характеризуются самыми низкими значениями коэффициентов отражения среди других природных объектов. При этом все другие природные объекты даже в состоянии увлажненности имеют больший коэффициент отражения. Этот факт используется при обнаружении водных объектов на измеренном изображении.

Для обнаружения водных объектов по космическим данным широко используются следующие индексы: NDWI, NDMI, MNDWI, WRI, NDVI (табл. 1).

Индекс NDWI получил широкое применение в области детектирования и мониторинга малейших изменений в содержании водных объектов. Используя преимущества спектральных диапазонов NIR (ближний инфракрасный) и GREEN (видимый зеленый), NDWI может усилить присутствие водных объектов на спутниковом снимке. Недостатком данного индекса является чувствительность к строительным конструкциям, которая может приводить к переоценке водных объектов [8].

Поскольку индекс NDWI (Нормализованный разностный водный индекс) эффективно определяет содержание влаги, его часто путают с индексом NDMI, также известным как NDWI GAO. На самом деле, это разные индексы с уникальными формулами расчета и сферой применения. NDMI использует комбинацию NIR-SWIR (ближний инфракрасный и коротковолновый) для усиления присутствия влаги в листьях растений. NDWI рассчитывается с использованием комбинации GREEN-NIR (видимый зеленый и ближний инфракрасный), что позволяет выявлять незначительные изменения содержания воды в водоемах [9].

Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) был изменен путем замены среднего инфракрасного диапазона, такого как полоса 5 Landsat TM, на ближний инфракрасный диапазон, используемый в NDWI. Модифицированный NDWI (MNDWI) может улучшать характеристики открытой воды, эффективно подавляя и даже удаляя застроенный наземный шум, а также шум растительности и почвы. Усовершенствованная информация о воде с использованием NDWI часто смешивается с застроенным землей шумом, и поэтому площадь извлеченной воды переоценивается. Соответственно, MNDWI больше подходит для улучшения и извлечения информации о воде для водного региона с фоном, в котором преобладают застроенные участки земли, из-за его преимущества в снижении и даже удалении шума застроенной земли по сравнению с NDWI.

Из-за доминирующих спектральных характеристик зеленой и красной полос по сравнению с полосами NIR и MIR индекс водного фактора (WRI) показывает значения выше 1 для воды. Помимо индексов воды, для выделения характеристик воды можно использовать и некоторые другие индексы. Примером таких индексов является нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) (43), который показывает уникальное отрицательное значение.

### Результаты исследования

Значения для индексов NDWI, NDMI, MNDWI, WRI, NDVI лежат в диапазонах [-1; 1]. В табл. 1 указаны диапазоны значений, при которых пиксель с наибольшей веро-

ятностью связан с водным объектом. Для каждого индекса строились фильтры на основе учета диапазона значений, указанных выше индексов, позволяющих выделять водные объекты (бинаризация изображений: 0 – неводные объекты и 1 – водные объекты). Проводилось сравнение водных масок для каждого фильтра с эталонной маской водного объекта. Эталонная водная маска с разрешением 50 см была построена по космическим снимкам компании Maxar Technologies.

Оценка точности обнаружения водных объектов получена путем деления суммы верно классифицированных пикселей водного объекта, полученного с помощью водного индекса, к общему числу пикселей эталонной маски:

$$O = 100 \times (N_w - N_{wm}) / N_{wm}, \% \quad (1)$$

здесь  $N_w$  – число водных пикселей анализируемого изображения и  $N_{wm}$  – число водных пикселей эталонной маски.

Таблица 2

Точность выделения водных объектов для водных индексов

Кесте 2

Су индекстері бойынша су объектілерін сәйкестендірудің дәлдігі

Table 2

Accuracy of allocation of water bodies for water indexes

Название метода	Диапазон	Общая точность %
WRI	>1.0	86.5%
NDWI	>0.0	86.2%
	>0.18	87.2%
MNDWI	>0.0	86.2%
	>0.18	88.2%
NDVI	-0.45... – 0.25	87.2%
	<0.0	86.2%
NDMI	>0.0	85.2%
	>0.14	86.0%

Получены результаты оценки точности водных объектов для водных индексов WRI, NDWI, NDMI, MNDWI, NDVI (табл. 2). Из приведенных данных можно выделить тот факт, что точность обнаружения водных объектов является высокой и максимально близкой к эталонной маске. Далее в табл. 3 проведены дополнительные расчеты, учитывая различные варианты диапазонов значений принадлежности пикселей к водным объектам. Это позволило более точно найти пороги значений, при которых пиксель можно считать принадлежащим водным объектам.

Проверка адекватности методик дешифрирования показала, что наилучшим способом распознавания водных поверхностей для Каспийского моря является вычисление индекса MNDWI, имеющего минимальную величину

Таблица 3

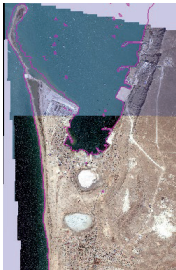

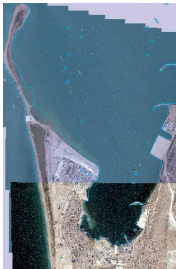

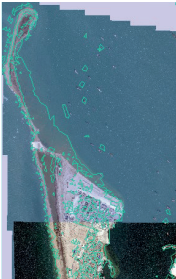
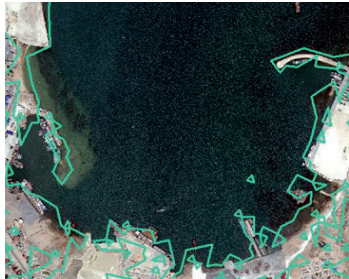
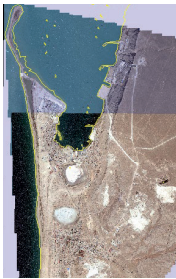

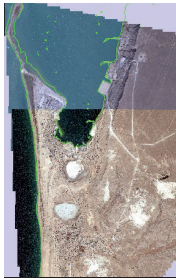

*Визуализация Маски водных объектов, рассчитанных по 30 м снимкам, в сравнении с эталонными снимками разрешения 50 см*

Кесте 3

*50 см рұқсаттағы анықтамалық кескіндермен салыстырғанда 30 м суреттерден есептелген су объектілерінің маскаларының визуализациясы*

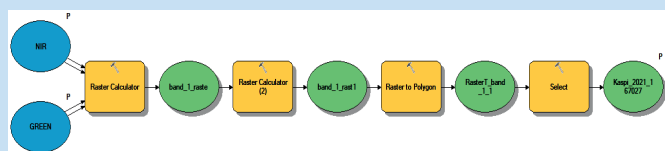
Table 3

*Visualization of the Mask of water bodies calculated from 30 m images, in comparison with reference images with a resolution of 50 cm*

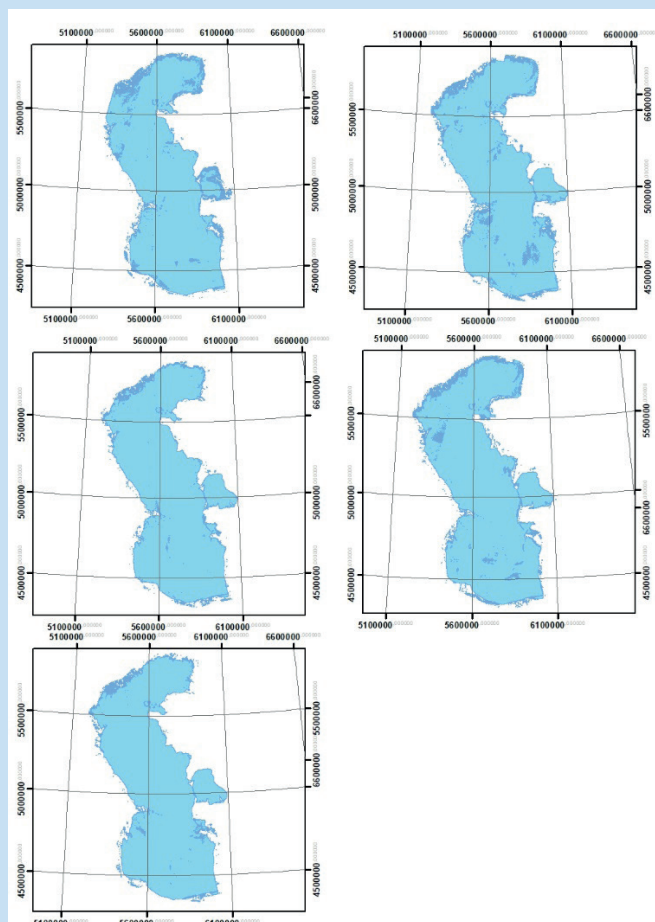
№	Индекс	Изображение береговой линии	Увеличенный фрагмент
1	NDVI		
2	WRI		
3	NDMI		
4	MNDWI		
5	NDWI		

среднеквадратической ошибки. В дальнейшем исследование динамики изменения береговой линии проводилось с использованием этого индекса. Для выявления временной изменчивости площадей водного зеркала проанализировано по 44 снимка на каждый выбранный год (в общей сложности 220 снимков). Данный индекс был использован для расчета береговой линии Каспийского моря за период с 1990-2021 гг.

Для расчета береговой линии Каспийского моря на каждый год исследования были составлены мозаики из 44 снимков. В целях ускорения процесса обработки большого количества снимков был использован процесс геодезирования в ПО ArcGIS, рис. 1.

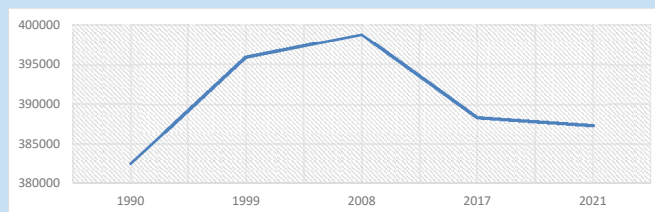


**Рис. 1. Геодезирование процесса вычисления.**  
**Сурет 1. Есептеу процесін геодезьдеу.**  
**Figure 1. Simulation of the calculation process.**



**Рис. 2. Площадь водной поверхности Каспийского моря с 1990 по 2021 год.**  
**Сурет 2. Каспий теңізінің су бетінің ауданы 1990 жылдан 2021 жылға дейін.**  
**Figure 2. The water surface area of the Caspian Sea from 1990 to 2021.**

В ходе исследования был проведен расчет индексов с космического летательного аппарата Landsat 8, разрешение снимков 30 метров, как показано на рис. 2.



*по вертикали – площадь Каспийского моря;  
 по горизонтали – годы*

**Рис. 3. Изменение объема Каспийского моря за период с 1990 по 2021 гг.**

**Сурет 3. 1990 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңдегі Каспий теңізі көлемінің өзгеруі.**

**Figure 3. The change in the volume of the Caspian Sea for the period from 1990 to 2021.**

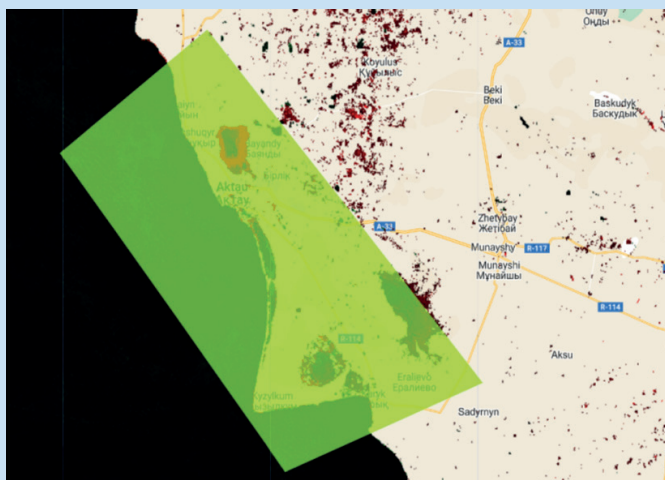
Временные ряды площади водного зеркала Каспийского моря позволяют выделить периоды повышения и убывания водности. В последние годы колебания уровня Каспийского моря обусловлены соотношением характеристик водного баланса, изменяющихся под влиянием антропогенного изменения климата (рис. 3).

Оценка выявила значительные колебания уровня воды в прибрежной зоне Каспийского моря в крупных населенных пунктах: Актау, Атырау и Форт-Шевченко за исследуемый период. Анализ показал, что изменения уровня моря характеризуются пространственными и временными колебаниями, на которые влияют такие факторы, как изменчивость климата, характер осадконакопления и антропогенное воздействие. Полученные результаты дают ценную информацию о долгосрочных тенденциях и динамике прибрежной зоны Каспийского моря, позволяя лучше понять экологические процессы и их последствия.

Слой интенсивности изменения уровня воды отображает изменения между двумя различными периодами времени (рис. 4, 5) в конкретных районах Каспийского моря. Согласно официальной символике слоя, увеличение уровня воды отображается различными оттенками зеленого, отсутствие изменений отображается черным цветом, а уменьшение – оттенками красного [5, 9].

Первый оператор платформы GEE вычисляет гистограмму значений интенсивности изменений в пределах ROI, используя выборку в масштабе 30 м, а второй выводит полученный объект на вкладку консоли редактора кода (рис. 6). Эти инструкции создают объект диаграммы гистограммы, который заменяет дерево объектов гистограммы на вкладке Консоли диаграммой, суммирующей интенсивность изменений в исследуемой области.

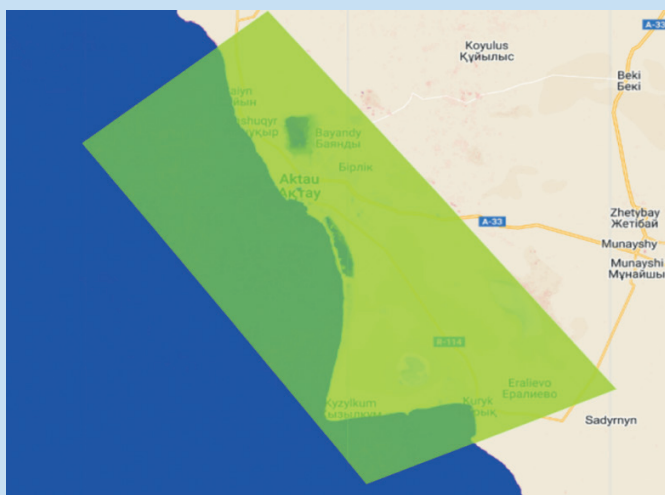
Метод построения диаграммы содержит несколько параметров, в том числе Scale, который определяет пространственный масштаб в метрах, в котором производится выборка интересующего региона (Актау, Атырау или Форт-Шевченко), и Bucket Width, который используется для управления шириной сегментов гистограммы.



**Рис. 4. Визуализация интенсивности изменения водной поверхности Каспийского моря в регионе Актау.**

**Сурет 4. Актау аймағындағы Каспий теңізінің су бетіндегі өзгерістер қарқындылығын бейнелеу.**

**Figure 4. Visualization of the intensity of changes in the water surface of the Caspian Sea in the Aktau region.**



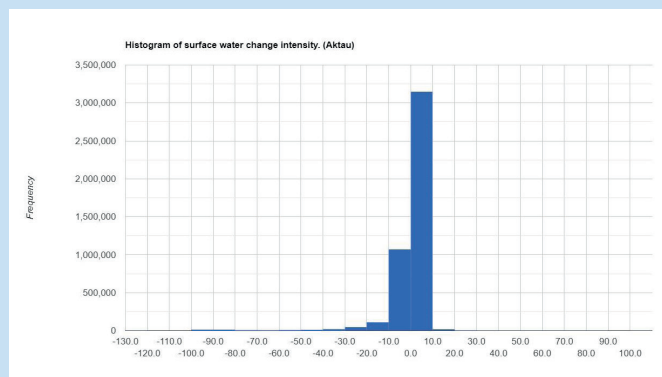
**Рис. 5. Визуализация формирования залегания воды с определением минимальных и максимальных значений конечной точки для Каспийского моря, регион Актау.**

**Сурет 5. Каспий теңізі, Актау облысы үшін ең төменгі және максималды соңғы нүкте мәндерін анықтау арқылы судың пайда болуының визуализациясы.**

**Figure 5. Visualization of the formation of the water occurrence with the determination of the minimum and maximum values of the endpoint for the Caspian Sea, Aktau region.**

#### **Обсуждение исследования**

В данном исследовании проведен сравнительный анализ водных индексов. На основе водных индексов строятся фильтры, которые позволяют выделить водные объекты (реки, озера, искусственные водохранилища) на земной поверхности. Перед расчетом индексов проводит-



*интенсивность (частота) изменения поверхностных вод*

**Рис. 6. Приведены усредненные значения интенсивности изменения поверхностных вод Каспийского моря в регионе Актау.**

**Сурет 6. Актау облысындағы Каспий теңізінің беткі суларының өзгеру қарқындылығының орташа мәндері көрсетілген.**

**Figure 6. The average values of the intensity of changes in the surface waters of the Caspian Sea in the Aktau region are shown.**

ся радиометрическая и атмосферная коррекция, позволяющая учесть условия во время съемки и скорректировать интервал яркости получаемого изображения.

Результаты обработки данных показали, что наилучшим водным индексом является MNDWI среди WRI, NDMI, NDWI, NDVI, что показывает визуальный анализ водных масок и результаты оценки точности. Приведены водные маски для каждого индекса.

Мониторинг береговой линии, полученный фотограмметрическим способом, имеет соответствующее качество, так как данные покрывают всю необходимую территорию и корректно передают информацию о водном ресурсе, также цифровая фотограмметрическая технология является одним из наиболее эффективных способов.

Внедрение позволит значительно сократить, упростить многие виды традиционных геодезических и картографических измерений. Использование полученных данных повысит точность данных, сократит сроки получения необходимых материалов и понизит стоимость на продукцию.

Изменение береговой линии может затрагивать населенные пункты, находящиеся вблизи моря. Исследование этих изменений необходимо для разработки стратегий предотвращения социальных и экономических последствий, таких как утрата земель или угрозы для инфраструктуры.

#### **Заключение**

Предложенный метод позволяет получить выходные материалы как в графическом, так и в цифровом виде. Использование ГИС-технологий для сбора и хранения полученной информации в единой базе данных позволяет выполнять своевременный пространственный анализ всей исследуемой территории. Обмен данными с использованием глобальных и локальных сетей обеспечивает эффективную организацию и управление работами на объектах, а также предоставляет возможность выполнять экологи-

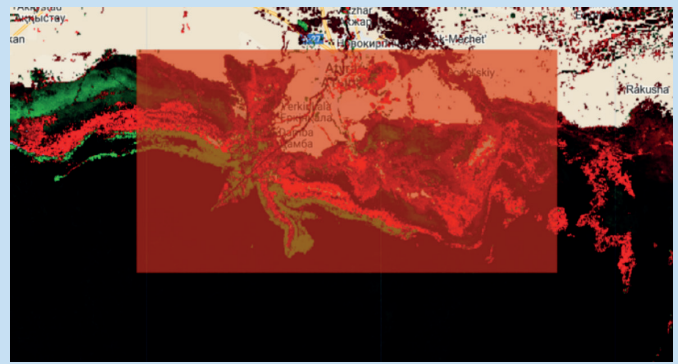
ческий прогноз и оценку прилегающей территории. Завершение оценки изменения уровня прибрежной зоны Каспийского моря знаменует собой важную веху в понимании этой уникальной и сложной экосистемы. Используя возможности Google Earth Engine, в ходе исследования была успешно проведена съемка и анализ пространственной и временной динамики прибрежной зоны, что позволило провести всестороннюю оценку изменения уровня моря (рис. 7.).

Результаты, представленные в этой статье, предоставляют ценную информацию лицам, принимающим решения, исследователям и заинтересованным сторонам для обоснования планирования, политики и устойчивого управления Каспийским морем и его прибрежными регионами.

Результаты исследования демонстрируют эффективность платформы GEE, которая использует облачные вычисления и доступ к большим геопространственным данным. Примечательно, что использование GEE устраняет необходимость в загрузке спутниковых изображений, поскольку доступ и обработка легко интегрируются с помощью программирования GEE.

**Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего обра-



**Рис. 7. Визуализация интенсивности изменения водной поверхности Каспийского моря в Атырауской области.**

**Сурет 7. Атырау облысындағы Каспий теңізінің су бетіндегі өзгерістер қарқындылығын визуализациялау.**

**Figure 7. Visualization of the intensity of changes in the water surface of the Caspian Sea in the Atyrau region.**

зования РК (AP23489269 «Геотехническое мониторинг-рование геодинамического состояния геолого-структурной среды массива горных пород при освоении недр для обеспечение промышленной надежности»).

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Mustafa T.M. Использование водных индексов (DVI, MNDWI, HDMI, WIRE) для определения физических и химических параметров с применением методов дистанционного зондирования и ГИС. / Mustafa T.M., Khalid I.H., Hussain M.H., Modher H.A. // Международный научный журнал. 2017. Т. 5. С. 117-128 (на английском языке)
2. Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям. // Доклады ТУСУС. 2017. №4. С. 105-108 (на русском языке)
3. Камза А., Левин Е., Кузнецова И., Ержанкызы А., Орынбасарова Е. Исследование изменений ЦМР, сделанное на основе данных, периодически получаемых с морского дна. // Международная междисциплинарная научная Геоконференционная Геодезия, геология и управление горной экологией. 2018. Т. 18. С. 449-454 (на английском языке)
4. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. Объединение водных индексов для определения уровня воды и фонового порога на изображении Landsat. // 4-я Международная электронная конференция по датчикам и приложениям, 2017. Т. 2. – С. 143 (на английском языке).
5. Умирбаев А. Оценка деформационной и радиационной обстановки территориальных областей на основе комплексного мониторинга. / А. Умирбаев, М.Б. Нурпеисова, Е. Федоров, Н.А. Милетенко. // Евразийская горнодобывающая промышленность. 2021. Т. 1. С. 83-87 (на английском языке)
6. Morto V. F. Использование глобальной ЦМР TanDEM-X для составления карты подверженности прибрежных районов наводнениям в условиях повышения уровня моря: применение к Гвинее-Бисау. / Morto V.F., Cristina P.L., Gil P.L. // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022. Т. 11(4). С. 225 (на английском языке)
7. Elfatih M.A. Экологическая устойчивость с помощью дистанционного зондирования в Африке Онисимо Мутанга. / Elfatih M.A., Lalit K. // Журнал ISPRS по фотограмметрии и дистанционному зондированию. 2020. Т. 169. С. 212-213 (на английском языке)
8. Klein R.J.T., Nicholls R.J. Прибрежные зоны. // В Справочнике по методам оценки воздействия изменения климата и стратегиям адаптации. 1998. С. 464 (на английском языке).
9. Caiya Y. Современные тенденции движения основных тектонических разломов в регионе Сычуань-Юньнань, основанные на ограничениях полей скоростей GPS. / Caiya Y., Qiang Y., Karibayeva K. // Достижения в области космических исследований (ASR). 2021. Т. 5. С.1719-1731 (на английском языке)
10. Acharya T.D. Идентификация водных объектов на изображении Landsat 8 OLI с использованием дерева решений J48. / Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. // Датчики. 2016. Т. 16. С. 1075 (на английском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Mustafa T.M. Қашықтықтан зондтау және ГАЖ әдістерін қолдану арқылы физикалық және химиялық параметрлерді анықтау үшін су индекстерін (NDWI, MNDWI, HDMI, СЫМ) пайдалану. / Mustafa T.M., Khalid I.H., Hussain M.H., Modher H.A. // Халықаралық зерттеулер журналы. 2017. Т.5. Б. 117-128 (ағылшын тілінде)
2. Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Көп спектрлі спутниктік өлшеулер бойынша су объектілерін анықтау әдістемесі. // ТУСУР баяндама. 2017. №4. Б. 105-108 (орыс тілінде)
3. Камза, А., Левин, Е., Кузнецова, И., Ержанқызы, А., Орынбасарова, Е. Теңіз түбінен мезгілдік мәліметтер жинақталатын дем өзгерістерін зерттеу. // Геология және тау-кен экологиясын басқаруды зерттейтін халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция. 2018. Т. 18. Б. 449-454 (ағылшын тілінде)
4. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. Landsat кескініндегі су және фондық шегі үшін су индекстерін біріктіру. // Датчиктер мен қосымшалар бойынша 4-ші Халықаралық электронды конференция, 2017. Т. 2. Б. 143 (ағылшын тілінде)
5. Умирбаев А. Аумақтық домендердің деформациясы мен радиациялық жағдайын кешенді мониторингтік бағалау. / А. Умирбаев, Нұрпейісова М.Б., Е. Федоров, Н.А. Милетенко. // Еуразиялық тау-кен өндірісі. 2021. Т. 1. Б. 83-87 (ағылшын тілінде)
6. Morto B. F., Cristina P. L. , Gil P. L. Теңіз деңгейінің көтерілуіне байланысты жағалаудағы су тасқынының әсерін картаға түсіру үшін Tandem-X Global DEM көмегімен: Гвинея-Бисауға қолдану. / Morto B.F., Cristina P.L., Gil P.L. // ISPRS Int. Дж. Гео-Инф. 2022. Т. 11 (4). Б. 225 (ағылшын тілінде)
7. Elfatih M.A. Африка Онисимо Мустанганың қашықтан зондтау арқылы экологиялық тұрақтылығы. / Elfatih M.A., Lalit K. // ISPRS Фотограмметрия және қашықтықтан зондтау журналы. 2020. Т. 169. Б. 212-213 (ағылшын тілінде)
8. Klein R.J.T., Nicholls R.J. Жағалау аймағы. // Климаттың өзгеруіне әсерді бағалау және бейімделу стратегияларының әдістері туралы анықтамалық. 1998. Б. 464 (ағылшын тілінде)
9. Caiya Y. GPS жылдамдық өрістерінің шектелуіне негізделген Сычуань-Юньнань аймағындағы негізгі тектоникалық ақаулардың қазіргі қозғалыс тенденциялары. / Caiya Y., Qiang Y., Kartbayeva K. // Ғарыштық зерттеулердегі жетістіктер (ASR). 2021. Т. 5. Б. 1719-1731 (ағылшын тілінде)
10. Acharya T.D. J48 шешімдерін қолдана отырып, Landsat 8 OLI кескініндегі су ерекшеліктерін анықтау. / Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. // Датчиктер. 2016. Т. 16. Б. 1075 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Mustafa T.M. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and gis techniques. / Mustafa T.M., Khalid I.H., Hussain M.H., Modher H.A. // International Journal of Research. 2017. Vol. 5. P. 117-128 (in English)
2. Kataev M.Yu., Bekerov A.A. Metodika obnaruzheniya vodnykh ob"ektov po mnogospektral'nyim sputnikovym izmereniyam. // Doklady TUSUS. 2017. №4. S. 105-108 [Kataev M.Yu., Bekerov A.A. Methodology for detecting water bodies using multispectral satellite measurements. // TUSUS reports. 2017. №4. P. 105-108] (in Russian)
3. Kamza A., Levin E., Kuznetcova I., Yerzhankyzy A., Orynassarova E. Investigation of changes in dem, constructed from time to time data from the seabed. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2018. Vol. 18. P. 449-454 (in English)
4. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. Combining Water Indices for Water and Background Threshold in Landsat Image. // The 4th International Electronic Conference on Sensors and Applications. 2017. Vol. 2. – P. 143 (in English)
5. Umirbaeva A. Integrated monitoring-based assessment of deformation and radiation situation of territorial domains. / Umirbaeva A., Nurpeisova M.B., Fedorov E., Miletchenko N.A. // Eurasian mining. 2021. Vol. 1. P. 83-87 (in English)
6. Morto B.F. Using TanDEM-X Global DEM to Map Coastal Flooding Exposure under Sea-Level Rise: Application to Guinea-Bissau. / Morto B.F., Cristina P.L., Gil P.L. // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022. Vol. 11 (4). P. 225 (in English)
7. Elfatih M.A. Environmental sustainability with remote sensing in Africa Onisimo Mutanga. / Elfatih M.A., Lalit K. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2020. Vol. 169. P. 212-213 (in English)

8. Klein R.J.T. Nicholls R.J. Coastal Zones. // *In Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. 1998. P. 464 (in English)
9. Caiya Y. Present-day movement trends of the major tectonic faults in the Sichuan-Yunnan region based on the constraint of GPS velocity fields. / Caiya Y., Qiang Y., Kartbayeva K. // *Advances in Space Research (ASR)*. 2021. Vol. 5. P. 1719-1731 (in English)
10. Acharya T.D. Identification of Water Bodies in a Landsat 8 OLI Image using a J48 Decision Tree. / Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. // *Sensors*. 2016. Vol. 16. P. 1075 (in English)

**Сведения об авторах:**

**Мейрамбек Г.**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой Маркшейдерского дела и геодезии горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [g.kyrgyzbayeva@satbayev.university](mailto:g.kyrgyzbayeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-4869-0587>

**Рахымбаева Д.Ж.**, магистр технических наук, факультет строительных технологий инфраструктуры и менеджмента (ФСТИМ), Международная Образовательная Корпорация, Казахская головная Архитектурно-Строительная Академия (КазГАСА) (г. Алматы, Казахстан), [d.rakhimbaeva@mok.kz](mailto:d.rakhimbaeva@mok.kz); <https://orcid.org/0000-0001-8792-035X>

**Рысбеков К.Б.**, кандидат технических наук, профессор, директор горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [K.Rysbekov@satbayev.university](mailto:K.Rysbekov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

**Ержанқызы А.**, PhD докторант, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.yerzhankyzy@satbayev.university](mailto:a.yerzhankyzy@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-2559-3220>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Мейрамбек Г.**, техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Рахымбаева Д.Ж.**, техника ғылымдарының магистрі, Инфрақұрылым және менеджмент құрылыс технологиялары факультеті халықаралық білім беру корпорациясы, Қазақ Бас сәулет-құрылыс академиясы (ҚазБСҚА) (Алматы қ., Қазақстан)

**Рысбеков К.Б.**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, О.А. Байқоңыров атындағы тау-кен-металлургия институтының директоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Ержанқызы А.**, PhD докторант, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Meirambek G.**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Surveying and Geodesy, O.A. Baikonurov Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Rakhimbaeva D.**, Master Of Technical Sciences. Faculty of Building Technologies, Infrastructure and Management (FSTIM) is an International Educational Corporation, Kazakh Head Architectural and Construction Academy (KazGASA) (Almaty, Kazakhstan)

**Rysbekov K.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Yerzhankyzy A.**, PhD candiate, Senior Lecturer of Mine surveying and geodesy Department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 36.01.81:52.01.81

T.B. Nurpeissova<sup>1</sup>, G.S. Madimarova<sup>1</sup>, \*A.E. Ormambekova<sup>1</sup>, F.T. Juldikarayeva<sup>2</sup><sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan),<sup>2</sup>Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov (Almaty, Kazakhstan)

## MODELING OF MINING AND GEOLOGICAL OBJECTS AKZHAL CAREER

**Abstract.** The methods considered in this article are used to solve problems of complex optimization of open-pit mining, which ensures continuous improvement of reliability and cost-effectiveness of design of mining enterprises and maintenance of their operating mode throughout the entire life of the deposit. Due to the diversity of manifestations of elements (depth of occurrence of the deposit, angle of dip of the ore body, thickness of the ore body, morphology of the ore body, mechanical properties of ore and host rocks, tectonic disturbance, fracturing of rocks and ores) of the geomechanical structure, it is difficult to link them together into a single functional dependence. In the article, several elements are conditionally identified to determine between them quantitative and qualitative relationships necessary for generalization of the geomechanical assessment of the massif state.

**Key words:** modeling, geomechanics, geodynamics, fracturing, programming, design.

### Ақжал карьерінің тау-геологиялық объектілерін модельдеу

**Аннотация.** Мақалада қарастырылған әдістер кен өндіруші кәсіпорындарды жобалаудың сенімділігі мен экономикалық тиімділігін үздіксіз арттыруды және кен орнының бүкіл қызмет ету мерзімі ішінде олардың жұмыс режимін сақтауды қамтамасыз ететін ашық әдіспен өндіруді кешенді оңтайландыру мәселелерін шешу үшін қолданылады. Элементтердің әртүрлі көріністеріне байланысты (кен орнының тереңдігі, кен денесінің құлау бұрышы, кен денесінің қалыңдығы, кен денесінің морфологиясы, кен және негізгі жыныстардың механикалық қасиеттері, тектоникалық бұзылулар, тау жыныстары мен кендердің жарылуы) геомеханикалық құрылымды ескере отырып, оларды бір-бірімен біртұтас функционалдық қатынасқа жатқызу қиын. Мақалада массив жағдайының геомеханикалық бағасын жалпылау үшін қажетті сандық және сапалық байланыстарды анықтау үшін бірнеше элементтер шартты түрде анықталған.

**Түйінді сөздер:** модельдеу, геомеханика, геодинамика, жарықшақтық, бағдарламалау, жобалау.

### Моделирование горно-геологических объектов карьера Ақжал

**Аннотация.** Рассмотренные в статье методы применяются для решения задач комплексной оптимизации открытых разработок, что обеспечивает непрерывное повышение надежности и экономичности проектирования горнодобывающих предприятий и поддержание режима их работы в течение всего срока эксплуатации месторождения. В связи с многообразием проявлений элементов (глубина залегания месторождения, угол падения рудного тела, мощность рудного тела, морфология рудного тела, механические свойства руды и вмещающих пород, тектоническая нарушенность, трещиноватость пород и руд) геомеханической структуры их трудно связать между собой в единую функциональную зависимость. В статье условно выделены несколько элементов для определения между ними количественных и качественных связей, необходимых для обобщения геомеханической оценки состояния массива.

**Ключевые слова:** моделирование, геомеханика, геодинамика, трещиноватость, программирование, проектирование.

### Introduction

At present, monitoring the state of the regions environment for the purpose of assessment and forecasting is one of the most important issues concerning the implementation of measures compliance with environmental safety. However, in all regions of Kazakhstan there are enough problems to ensure not only environmental but also industrial safety.

The scale of modern mining production development requires in-depth study and constant monitoring of the ongoing geomechanical and geodynamic processes in the bowels of the Earth. Therefore, a system of geomechanical and geodynamic monitoring of the state rock massifs should be created on the territory of the enterprise for the development of deposits to ensure industrial safety of the subsurface development [1].

The development of the methodology of the systems approach has led to the emergence of a new, more advanced and targeted methodology for solving problems of large and complex dynamic systems, this is object-oriented analysis, design and programming, which were formed on the basis of computer science. Fundamental and applied problems of analysis, design technologies, programming and creation of databases, as well as the formation and functioning of information flows are widely reflected in the works of A.M. Alekseev, G. Buch, V.N. Burkov, F. Gill, I. Graham, G.A. Denisov, A.D. Ivannikov, Yu.I. Klykov and other scientists. A significant contribution to the development of scientific areas of geoinformatics in mining was made by the works of such scientists of Kazakhstan as D.Sh. Akhmedov, D.G. Bukeikhanov, S.Zh. Galiev, A.F. Tsekhovoy, S.V. Tsoi and a number of other scientists.

### Research methods

The deposit is located in Shetskyarea of the Karaganda region. The nearest mining center is the city Balkhash, located in 130 km to the southeast.

The deposit is composed mainly of limestones and sandstones in the lower Tournaisian of the Kanan layers. Massive limestones are the main ore-bearing horizon. The appearance of the limestones is quite diverse, and the varieties replace each other, both along the strike and along the dip, without any regularity. The thickness of the horizons within the deposit varies from 50-200 m.

Vein rocks accompanying intrusions are widely developed in the Akzhal ore field area. The rock complex corresponds to the second stage dikes and is represented by diorite, diabase, quartz diorite porphyrites, granosyenite porphyry [2].

The ore zone is characterized by a complex internal structure, there are sheet-like and saddle-shaped ore bodies and deposits of vein-disseminated ores, the ore bodies are not consistent in dip and strike, have constrictions and swellings, branch out and reconnect.

At present, all benches of the quarry are composed of highly fractured rocks, which pose a certain danger during mining operations. Therefore, special attention was paid to studying the structural features of the rock mass (Fig. 1).

A quarry, like any large, complex and dynamic system, is a hierarchical multi-level structure designed for the development of solid minerals by open-pit mining. The main active objects of the system located at the top level of the hierarchy are the sides of the quarry and the edge massifs of rocks.

At the top level of the conceptual model there is an object in the form of a coordinator – «Block for calculation man-



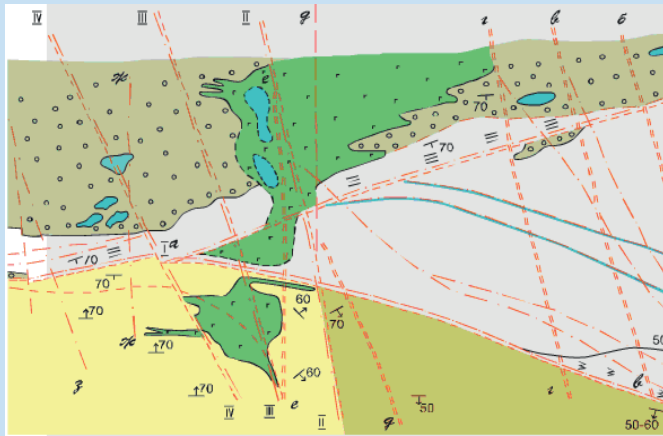


Figure 1. Tectonic map of the Akzhal deposit.

Сурет 1. Ақжал кен орнының тектоникалық картасы.  
Рис. 1. Тектоническая карта месторождения Ақжал.

agement and coordination of information flows», providing a strategy for managing and coordinating calculations of quarry slope stability with decision-making priority, and at the lower level – design objects of the processes: «Automation of field survey processes and processing of their results», «Modeling of the structure of edge massif», «Automation of the engineering and environmental monitoring (EEM) system and strengthening of slopes and the surface of dumps» [3, 9].

Thus, the conceptual geoinformation model reflects the structure, structure and properties of geological objects in the edge massif in a complex, the composition of the elements of which is determined taking into account the relationship between geological objects of different levels of the hierarchy and the description of geometric parameters in a single coordinate system. In this case, information flow models are used as means of interaction between objects, and models of objects in symbolic form are used as objects, between which system-forming relations are maintained through computer systems.

### Results and discussion

One of the main stages of the study of quarry slope stability was the study of the physical and mechanical properties of rocks.

Using the methods of mathematical statistics and correlation analysis, it was established that there is a stable relationship between the average density, strength, adhesion,

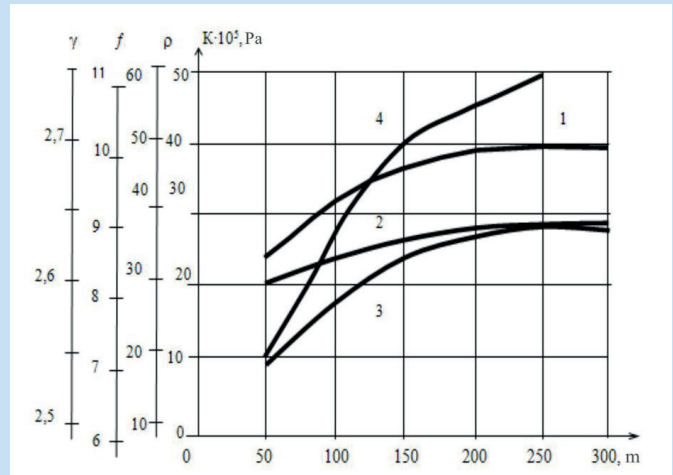


Figure 2. Dependence of strength properties of massive limestones on the depth of their occurrence in the Akzhal quarry.

Сурет 2. Массивті әктастардың беріктік қасиеттерінің Ақжал қарьерінде пайда болу тереңдігіне тәуелділігі.  
Рис. 2. Зависимость прочностных свойств массивных известняков с глубиной их залегания на карьере Ақжал.

resistance and the depth of their occurrence, i.e.  $\gamma$ ,  $f$ ,  $c$ ,  $\sigma_{comp} = f(H)$ . The relationships of the physical and mechanical properties of rocks with each other, as well as with the depth of their occurrence, are shown in Fig. 2.

If we consider a geological body of a larger scale, then the above-mentioned separate massif would be part of the first. If we study the structure of an entire mountain structure such as Central Kazakhstan, then individual deposits can serve only as an elementary part, a block of a large scale. With such judgments we can reach the whole on the scale of continents or geosynclines and platforms. The latter, in turn, are the constituent parts of the earth's crust – the geoid as a whole [4].

Modeling such a complex object as a deposit is impossible without applying the principle of a systems approach – the principle of hierarchy. Based on the principle of hierarchy, the following levels are distinguished: *deposit, site, exploration line, exploration well, geological object (layer, interlayer and their characteristic properties)*. This scheme (Fig. 3) is the basis for establishing a connection between geological objects located at different levels of the hierarchy.

Table 1

Equation of relationships between the properties of limestones of the Akzhal deposit and the depth of their occurrence

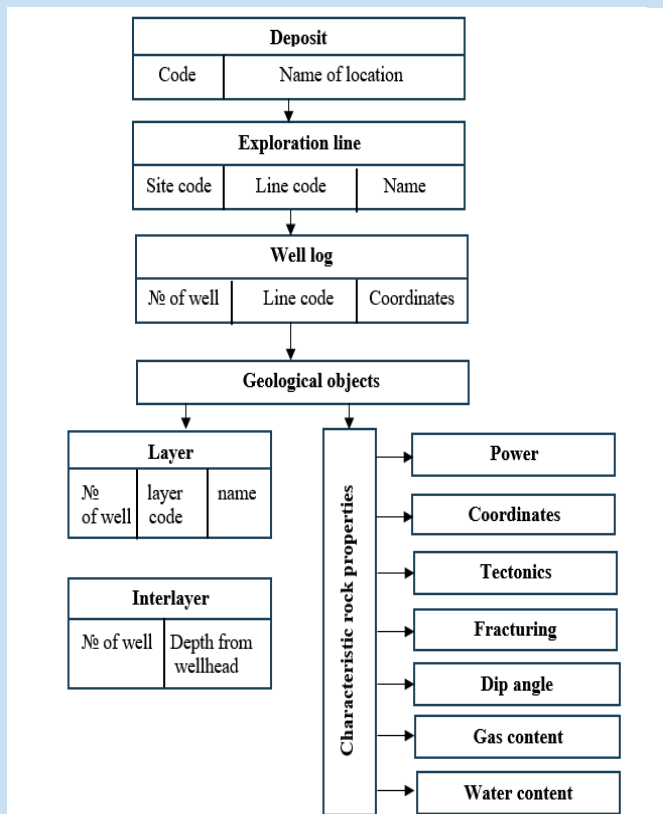
Кесте 1

Ақжал кен орнының әктастарының қасиеттері мен олардың пайда болу тереңдігі арасындағы байланыс теңдеуі

Таблица 1

Уравнение связи свойств известняков месторождения Ақжал с глубиной их залегания

Studied value	Function equation	Reliability	Limits of action
Adhesion $k$ , MPa	$k = 14.5 + 0.2H - 0.0004H_2$	0.88	$300 < H < 50$
Angle of internal friction $r$ , deg.	$\rho = 25.5 + 0.2H - 0.0002H^2$	0.90	$250 < H < 50$
Fortress	$f = 6.15 + 0.018H - 0.00003H^2$	0,89	$300 < H < 50$



**Figure 3. Relationship between geological objects.**  
**Сурет 3. Геологиялық объектілер арасындағы байланыс.**

**Рис. 3. Связь между геологическими объектами.**

The information model should display not only the values of the properties of geological objects, but also the nature of their behavior in space, i.e. display the geometry of the distribution of these properties. Based on these requirements, the attributes of the model include a subset of attributes of geometric parameters and mining and geological properties [5, 8].

Description of the properties of geological bodies is inseparable from the study of their structural features. Therefore, the model should also display the nature of their behavior in space. Consequently, the model includes sets of *attributes reflecting*

*geometric parameters and mining and geological properties.*

Subset GG in each specific case has a different composition of attributes depending on the nature of the problems being solved. For example, to calculate the stability of quarry slopes, it will have the following form:

$$GG = \{\sigma_{str}, \sigma_{comp}, K, \rho, \gamma\}. \quad (1)$$

The next type of geological object is a layer. A layer is a geological *body* isolated from the surrounding geological environment according to geological or technological criteria for independent study of its properties.

The information model of a layer is described by a relation of the following type:

$$R_S = \{I_S, K_S, G_S, GG_S\}. \quad (2)$$

For this model, the subsets of the tuple attributes consist of the following elements:

$$I_S = \{NS, HS\}; K_S = \{TS\}; G_S = \{X_S, Y_S, Z_S, MS\}, \quad (3)$$

where *NS* is the well number;  
*HS* is the depth of the beginning of the layer relative to the wellhead, m;

*TS* is the type of rock (lithotype);

*X<sub>S</sub>, Y<sub>S</sub>, Z<sub>S</sub>* are the absolute coordinates of the well, m;

*MS* is the visible thickness of the layer, m.

Table 2 shows a fragment of the «Layer» relation for well 404.

Such a composition of geometric characteristics allows displaying the position of geological objects in all types of graphic documents, and the presence of an attribute allows you to set its belonging to a specific top-level object.

The proposed structure of the layer information model is abstract, and on its basis specific models of geological objects of different deposits can be developed taking into account their individual characteristics. Two types of relations are used to model the structure of a graphic document.

Relations of the first type are intended to describe a geological object, and of the second type – to display their geometry and are described by a set of tuples of the «Line» and «Point»

**Table 2**

**Fragment of the «Layer» (RS) relation**

**Кесте 2**

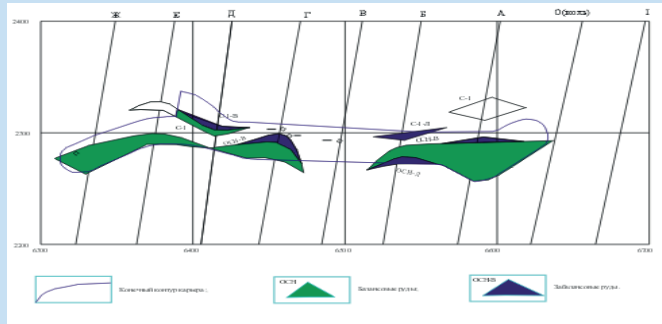
**«Қабат» (RS) қатынасының фрагменті**

**Таблица 2**

**Фрагмент отношения «Слой» (RS)**

Well number ( <i>NS</i> )	Start of layer, m ( <i>NS</i> )	Layer type ( <i>TS</i> )	Layer thickness, m ( <i>MS</i> )	Absolute coordinates, m		
				<i>X<sub>S</sub></i>	<i>Y<sub>S</sub></i>	<i>Z<sub>S</sub></i>
404	0	Overburden	30,00	6189,75	9309,55	517,05
404	30,00	Limestones	32,90	6274,49	9244,31	517,05
404	62,90	Porphyrites	23,30	6482,79	9331,21	518,05
404	86,20	Limestones	43,85	6397,73	9354,74	518,70
404	130,05	Diorites	35,05	6327,15	9298,15	516,00

relations. The «Line» relation is used to establish relationships between a geological object and a set of points that describe its geometry. A fragment of the graphic material is shown in Fig. 4.



**Figure 4. Fragment of the plan for the 315 m horizon of the quarry of the Akzhal deposit.**

**Сурет 4. Ақжал кен орны қарьерінің 315 м горизонты бойынша план үзіндісі.**

**Рис. 4. Фрагмент плана по горизонту 315 м карьера месторождения Ақжал.**

Three databases are used in the process of creating a structural-geometric model: GMI, quarry models and mass measurements of fracturing, as well as a bank of mathematical models of calculation schemes for various mining and geological conditions. Based on the constructed model, an automated method for assessing the stability of quarry slopes was developed. This method and the software package developed on its basis allow for the prompt and reliable assessment of the stability of slopes of benches composed of both fractured and layered rocks [6].

There are many calculation schemes that take into account the weakening surfaces in the rock mass. The most theoretically sound are the calculation schemes for fractured rocks, in which the parameters of stable slopes are determined taking into account the weakening planes in relation to the strength properties of the rocks of the massif. Therefore, the developed method of automated slope stability assessment is based on the calculation schemes of slope stability for a fractured massif. This set of calculations is performed on a computer for each section of the simulated section of the quarry side, summary tables are generated, which are stored in the working database (table 3), and the quarry slopes are zoned according to the stability factor.

The analysis of the data in Table 3 shows that along the southern side of the quarry, in sections of profile lines with dip angles of longitudinal steep cracks of 75-78°, the stability of slopes at angles of their inclination of 65-70° is ensured. On the northern side, section of profile line I-I, as well as on the southern side (profiles M 22), the slopes will be in a temporarily stable state ( $\eta_3 = 1.21-1.22$ ), and over time, the benches may be subject to local collapses. The results of the study made it possible to clarify the parameters of stable sides and benches in the limit position and to adopt a new version of the Akzhal deposit quarry contour.

This automated calculation technique and the software package «Slope Stability Assessment» developed on its basis make it possible to promptly and reliably assess the stability of slopes of benches composed of both fractured and layered rocks.

The current level of development of science and technology suggests the use of modern research methods in the mining industry, based on the use of computer technologies. There is a number of foreign software products implementing three-dimensional modeling of deposits: Data Mine (Great Britain), Techbfse (USA), Surpac (Australia) and others.

**Table 3**

**Assessment of the stability of the Akzhal quarry sides**

**Кесте 3**

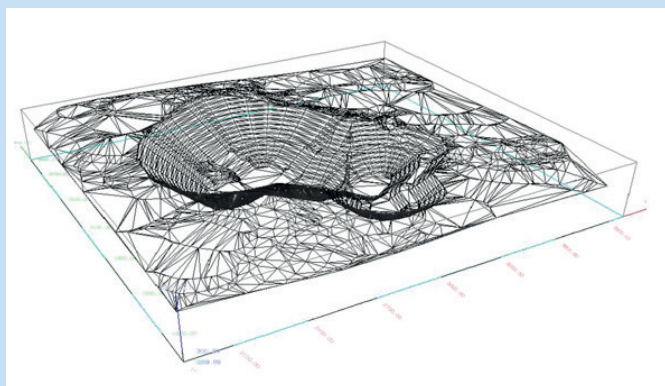
**Ақжал қарьері жақтарының тұрақтылығын бағалау**

**Таблица 3**

**Оценка устойчивости бортов карьера Ақжал**

Profiles	Calculation characteristics of breeds					Slope angle $\alpha$ , deg	Crack inclination angle $\delta^0$	Nz, m	Stability coefficient $\eta_3$
	in array			on crack					
	$\gamma$ , t/m <sup>3</sup>	Km, T/m <sup>2</sup>	$\rho m$ , deg	Kr,t on crack /m <sup>2</sup>	$\rho p$ , rad				
South B-IX	2,68	55,8	22,5	18,6	20,0	65	75	60	1,3567
South B-VI	2,70	62,0	22,5	19,0	20,0	70	75	90	1,2890
North M-22	2,70	62,0	22,5	19,0	20,0	70	75	190	1,2100
South B-X	2,68	55,8	22,5	18,6	20,0	60	75	30	2,7450
North I- I	2,68	55,8	22,5	18,6	20,0	65	75	60	1,2560
South B-IV	2,70	62,0	22,5	18,6	20,0	70	75	90	1,6030
South B-IX	2,68	55,8	22,5	18,6	20,0	75	75	190	1,2240
North M-22	2,68	55,8	22,5	18,6	20,0	75	75	190	1,2240

There is experience in using 3D models of deposits in specialized commercial software packages for solving various mining engineering problems at mining enterprises (Fig. 5.)



**Figure 5. 3D model of the quarry in the GEMCOM system.**  
**Сурет 5. GEMCOM жүйесіндегі карьердің 3D моделі.**  
**Рис. 5. 3D модель карьера в системе GEMCOM.**

In recent years, mathematical computer models have been widely used, which have made it possible to move to flexible multi-variant modeling of ore objects, taking into account the rapidly changing economic situation. The scheme of the computer system for modeling deposits provides for obtaining a geological and economic assessment of ore objects and a model of ore objects by constructing block models [7, 11].

The block model allows for a high degree of reliability in assessing geological reserves and quickly calculating the necessary indicators. A large volume of research was conducted in the open-pit mining laboratory under the supervision of Doctor of Technical Sciences, Professor D.G. Bukeikhanov.

A fundamental step in this direction is the transition to three-dimensional modeling of deposits. Working with such models allows not only to promptly solve mining engineering problems, but also opens up broad prospects for researchers to apply modern analytical and numerical methods.

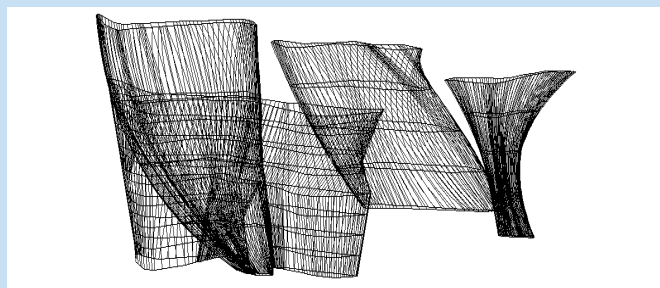
Three-dimensional modeling of ore bodies for the study of the geomechanical situation was carried out at the Akzhal deposit [1, 10].

Due to the complexity of the issue being resolved and the above-mentioned advantages, it was decided to create a digital three-dimensional model of the geological situation of the deposit.

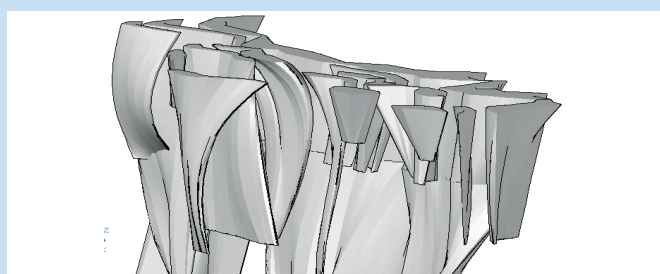
The first stage of modeling is the classification and primary processing of the initial data, which consists of selecting the necessary and sufficient volume of geological and graphic data and bringing them to a single format that allows for correct combination.

The final stage of modeling was a three-dimensional approximation of the geometric parameters of the structural elements of the model. At the same time, an analysis of their relative positions and interpolation of the contour generators were performed, according to which a framework model of ore bodies is created (Fig. 6).

Based on the wireframe model, spatial triangulation is performed, resulting in a three-dimensional surface of the ore bodies (Fig. 7).



**Figure 6. Wireframe model of ore bodies of the Central section of the Akzhal deposit.**  
**Сурет 6. Акжал кен орнының Орталық учаскесінің кен денелерінің қаңқалық моделі.**  
**Рис. 6. Каркасная модель рудных тел Центрального участка месторождения Акжал.**



**Figure 7. 3D model of the ore body surface.**  
**Сурет 7. Кен денелер бетінің 3D моделі.**  
**Рис. 7. 3D модель поверхности рудных тел.**

The development of 3D models of deposits is a highly relevant scientific and practical task, the successful solution of which determines the efficiency of mining enterprises based on the widespread introduction and use of modern computer technologies in solving mining-geometric and mining engineering problems [1, 12].

The method of creating three-dimensional models of ore bodies at the Akzhal and Akbakay deposits can be used at other deposits.

### Conclusion

The application of principles and methods of geoinformation modeling made it possible to create, with the required level of detail and in accordance with the purpose and objectives of the study, object-oriented models of the main subsystems for ensuring the stability of quarry edge massifs and their interrelations, which together represent a conceptual model for predicting the characteristics of quarry slopes.

A methodology and method for assessing the stability of quarry slopes have been developed based on the construction of a structural-geometric model of the edge massif, distinguished by a comprehensive consideration of the factors of four interconnected units with their characteristic features, which makes it possible to assess the stability of quarry slopes.

### Acknowledgments

*The study was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (GF AP23489372).*

## REFERENCES

1. Bek A.Sh. Geoinformatsionnye osnovy prognozirovaniya kharakteristik ustoichivosti bortov kar'erov: diss. ... d-r tekhn. nauk. Almaty: 2009. 256 s. [Bek A.Sh. Geoinformation bases for forecasting the stability characteristics of quarry sides: diss. ... Doctor of Technical Sciences. Almaty: 2009. 256 p.] (in Russian)
2. Nurpeisova T.B. Razrabotka metodov formirovaniya i ispol'zovaniya geologo-marksheiderskoi informatsii pri resheni zadach obespecheniya ustoichivosti kar'ernykh otkosov: diss. ... kand. tekhn. nauk. Almaty: 2005. 130 s. [Nurpeisova T.B. Development of methods for the formation and use of geological and mine surveying information in solving problems of ensuring the stability of quarry slopes: diss. ... Cand. of Technical Sciences. Almaty: 2005. 130 p.] (in Russian)
3. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ustoichivosti bortov kar'erov Akzhal. / M.B. Nurpeisova, Kh.M. Kasymkanova, G.M. Kyrgyzbaeva. – Almaty: KazNTU, 2004. – 27 s. [Methodological recommendations for assessing the stability of the sides of Akzhal quarries. / M.B. Nurpeisova, Kh.M. Kasymkanova, G.M. Kyrgyzbaeva. – Almaty: KazNTU, 2004. – 27 p.] (in Russian)
4. Lyubushin A.A. Geodinamicheskii monitoring: shumy, signaly, predvestniki. Problemy geofiziki XXI veka: M.: Nauka, 2003, Kn. 2. S. 70-94 [Lyubushin A.A. Geodynamic monitoring: noise, signals, precursors. Problems of Geophysics of the XXI century: M.: Science, 2003, Book 2. P.70-94] (in Russian)
5. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornykh работ na mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram (Khibinskie apatito-nefelinovyе mestorozhdeniya). / Kollektiv avtorov. Apatity: KNTs RAN, 2002, 97 s. [Guidelines for the safe conduct of mining operations at deposits prone to and dangerous for rock bursts (Khibiny apatite-nepheline deposits). / A group of authors. Apatity: KSC RAS, 2002, 97 p.] (in Russian)
6. Nurpeisova M.B. Geomekhanicheskoe obespechenie promyshlennoi bezopasnosti gornykh predpriyatii. // Materialy KhKhV mezhd. Nauchnoi shkoly im. akademika S.A. Khristianovicha, Alushta, Krym, 2015. – S. 133-138 [Nurpeisova M.B. Geomechanical support of industrial safety of mining enterprises. // Proceedings of the XXV International Scientific School named after Academician S.A. Khristianovich, Alushta, Crimea, 2015. – P.133-138] (in Russian)
7. Madimarova G. The geodetic monitoring of deformations of a high-rise building using ground-based laser scanning technology. / Madimarova G., Suleimenova D., Pentayev T., ... Tumazhanova, S., Stankova H. // Journal of Applied Engineering Science. 2022. Vol. 20 (4). P. 1083-1092 (in English)
8. Ozhygin D., Safar V., Dorokhov D., ... Ozhygin S., Stankova H. Terrestrial photogrammetry at the quarry and validating the accuracy of slope models for monitoring their stability. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Vol. 906 (1), Art. №012062 (in English)
9. Nizametdinov N.F. Analysis of Ground Surface Displacements under the Influence of Repeated Mining Activities in the Zhezkazgan Area. / Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nizametdinov R.F., ... Stankova H., Batyrshaeva Z.M. // Journal of Mining Science. 2021. Vol. 57 (2). P.184-189 (in English)
10. Hulanova M. Validation of Data Collection Methods for Survey Stockpiles Measurement. / Hulanova M., Kutil L., Staniczikova M., Cernota P., Stankova H. // Mineral Engineering. 2023. Vol. 2 (2). P. 141-146 (in English)
11. Staniczikova M. Correction of cadastral maps in the area after mining operations. / Staniczikova M., Hulanova M., Kutil L., Cernota P., Stankova H. // Mineral Engineering. 2023. Vol. 2 (2). P. 147-152 (in English)
12. Shults R. Analysis of Overpass Displacements Due to Subway Construction Land Subsidence Using Machine Learning. / Shults R., Bilous M., Ormambekova A., ... Annenkov A., Akhmetov R. // Urban Science. 2023. Vol. 7 (4). Art. №100 (in English)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бек А.Ш. Карьер бекейінің тұрақтылық сипаттамаларын болжауға арналған географиялық ақпарат негіздері: дисс. ... т.ғ.д. Алматы: 2009. 256 б. (орыс тілінде)
2. Нурпеисова Т.Б. Карьер беткейлерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселелерін шешу кезінде геологиялық-маркшейдерлік ақпаратты қалыптастыру және пайдалану әдістерін әзірлеу: дисс. ... т.ғ.к. Алматы: 2005. 130 б. (орыс тілінде)
3. Ақжал карьері беткейлерінің тұрақтылығын бағалау бойынша әдістемелік ұсыныстар. / М.Б. Нурпеисова, Х.М. Касымканова, Г.М. Кыргызбаева. – Алматы: ҚазҰТУ, 2004. – 27 б. (орыс тілінде)
4. Любушин А.А. Геодинамикалық мониторинг: шум, сигналдар, алдын алушылар. XXI ғасыр геофизикасының мәселелері: М.: Ғылым, 2003, 2 кітап. Б.70-94 (орыс тілінде)

5. Тау жыныстарының жарылуына бейім және қауіпті кен орындарында тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізу жөніндегі нұсқаулық (Хибин апатит-нефелин кен орындары). / Авторлар ұжымы. Апатиты: КНЦ РАН, 2002, 97 б. (орыс тілінде)
6. Нурпеисова М.Б. Тау-кен кәсіпорындарының өнеркәсіптік қауіпсіздігін геомеханикалық қамтамасыз ету. // С.А. Христистанұлының академигі ХХІ Халықаралық ғылыми мектебінің материалдары, Алушта, Крым, 2015. – Б.133-138 (орыс тілінде)
7. Madimarova G. Жер үсті лазерлік сканерлеу технологиясын қолдана отырып, биік ғимараттардың деформацияларын геодезиялық бақылау. / Madimarova G., Suleimenova D., Pentayev T., ... Timazhanova S., Stankova H. // Қолданбалы инженерлік ғылымдар журналы. 2022. Т. 20 (4). Б. 1083-1092 (ағылшын тілінде)
8. Ozhygin, D., Safar, V., Dorokhov, D., ... Ozhygin, S., Stankova, H. Карьердегі жер үсті фотограмметриясы және еңістердің тұрақтылығын бақылау үшін еңіс үлгілерінің дәлдігін тексеру. // IOP конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылым, 2021, Т. 906 (1), мақ. №012062 (ағылшын тілінде)
9. Nizametdinov N.F. Analysis of Ground Surface Displacements under the Influence of Repeated Mining Activities in the Zhezkazgan Area. / Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nizametdinov R.F., ... Stankova H., Baturshaeva Z.M. // Тау-кен ісі журналы. 2021. Т. 57 (2). Б. 184-189 (ағылшын тілінде)
10. Hulanova M. Тексеру кезінде қорларды өлшеу үшін деректерді жинау әдістерін валидациялау. / Hulanova M., Kutil L., Staniczikova M., Cernota P., Stankova H. // Минералды инженерия. 2023. Т. 2 (2). Б. 141-146 (ағылшын тілінде)
11. Staniczikova M. Correction of cadastral maps in the area after mining operations. / Staniczikova M., Hulanova M., Kutil L., Cernota P., Stankova H. // Минералды Инженерия. 2023. Т. 2 (2). Б. 147-152 (ағылшын тілінде)
12. Shults R. Машиналық оқытуды қолдану арқылы метро құрылысы кезінде жердің шөгуге байланысты эстакаданың жылжуын талдау. / Shults R., Bilous M., Ortambekova A., ... Annpenkov A., Akhmetov R. // Қала туралы ғылым. 2023. Т. 7(4). Мақ. №100 (ағылшын тілінде)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бек А.Ш. Геоинформационные основы прогнозирования характеристик устойчивости бортов карьеров: дисс. ... д-р техн. наук. Алматы: 2009. 256 с. (на русском языке)
2. Нурпеисова Т.Б. Разработка методов формирования и использования геолого-маркшейдерской информации при решении задач обеспечения устойчивости карьерных откосов: дисс. ... канд. техн. наук. Алматы: 2005. 130 с. (на русском языке)
3. Методические рекомендации по оценке устойчивости бортов карьеров Акжал. / М.Б. Нурпеисова, Х.М. Касымканова, Г.М. Кыргызбаева. – Алматы: КазНТУ, 2004. – 27 с. (на русском языке)
4. Любушин А.А. Геодинамический мониторинг: шумы, сигналы, предвестники. Проблемы геофизики ХХІ века: М.: Наука, 2003, Кн. 2. С. 70-94 (на русском языке)
5. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатито-нефелиновые месторождения). / Коллектив авторов. Апатиты: КНЦ РАН, 2002, 97 с. (на русском языке)
6. Нурпеисова М.Б. Геомеханическое обеспечение промышленной безопасности горных предприятий. // Материалы XXV межд. Научной школы им. академика С.А. Христиановича, Алушта, Крым, 2015. – С. 133-138 (на русском языке)
7. Madimarova G. Геодезический мониторинг деформаций высотного здания с использованием технологии наземного лазерного сканирования. / Madimarova G., Suleimenova D., Pentayev T., ... Timazhanova S., Stankova H. // Журнал прикладных инженерных наук. 2022. Т. 20 (4). С. 1083-1092 (на английском языке)
8. Ozhygin D., Safar V., Dorokhov D., ... Ozhygin S., Stankova H. Наземная фотограмметрия в карьере и проверка точности моделей склонов для мониторинга их устойчивости. // Серия конференций ИФ: Наука о Земле и окружающей среде, 2021, Т. 906 (1), ст. №012062 (на английском языке)
9. Nizametdinov N.F. Анализ смещений земной поверхности под влиянием повторных горных работ в районе Жезказгана. / Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nizametdinov R.F., ... Stankova H., Baturshaeva Z.M. // Журнал горных наук. 2021. Т. 57 (2). С. 184-189 (на английском языке)
10. Hulanova M. Проверка методов сбора данных для измерения запасов обследований. / Hulanova M., Kutil L., Staniczikova M., Cernota P., Stankova H. // Минеральная инженерия. 2023. Т. 2 (2). С. 141-146 (на английском языке)

11. Staniczzkova M. *Корректная карта катастрофических последствий для обзора горных работ.* / Staniczzkova M., Hulanova M., Kutil L., Cernota P., Stankova H. // *Минеральная инженерия.* 2023. Т. 2 (2). С. 147-152 (на английском языке)
12. Shults R. *Анализ смещений путепровода из-за просадки грунта при строительстве метрополитена с использованием машинного обучения.* / Shults R., Bilous M., Ormambekova A., ... Annenkov A., Akhmetov R. // *Наука о городах.* 2023. Т. 7 (4). Ст. №100 (на английском языке)

#### Information about the authors:

**Nurpeissova T.B.**, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan), [t.nurpeissova@satbayev.university](mailto:t.nurpeissova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>

**Madimarova G.S.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan), [g.madimarova@satbayev.university](mailto:g.madimarova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-9155-6332>

**Ormambekova A.E.**, Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer Department of Mine Surveying and Geodesy Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan), [a.ormambekova@satbayev.university](mailto:a.ormambekova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-2735-0257>

**Juldikarayeva F.T.**, Senior Lecturer of the Department «The History of Kazakhstan, General Education Disciplines and Information Systems», Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov (Almaty, Kazakhstan), [Ftastemirovna@gmail.com](mailto:Ftastemirovna@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0004-4801-7546>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Нурпеиссова Т.Б.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Мадимарова Г.С.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Ортамбекова А.Е.**, техника ғылымдарының магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Джұлдиқараева Ф.Т.**, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ Автомобиль жол институтының «Қазақстан тарихы, жалпы білім беретін пәндер және ақпараттық жүйелер» кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Нурпеиссова Т.Б.**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

**Мадимарова Г.С.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

**Ортамбекова А.Е.**, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

**Джұлдиқараева Ф.Т.**, старший преподаватель кафедры «История Казахстана, Общеобразовательные дисциплины и Информационные системы», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова (г. Алматы, Казахстан)

Код МРНТИ 52.13.04

\*Б.А. Орынбаев<sup>1</sup>, С.Б. Алиев<sup>2</sup>, С.С. Мырзахметов<sup>1</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>Институт проблем комплексного освоения недр  
им. академика Н.В. Мельникова РАН (г. Москва, Россия)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ В ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ

**Аннотация.** В статье проведен сравнительный анализ численных методов и методов предельного равновесия для анализа устойчивости уступов и бортов карьеров. Для решения поставленных задач были определены коэффициенты запаса устойчивости для случайного набора параметров уступа (высоты уступа, угла откоса уступа) и физико-механических свойств пород (объемный вес, угол внутреннего трения, сцепления), слагающих откос в программном обеспечении K-MINE. Полученные результаты определения коэффициентов запаса устойчивости откоса методом конечных элементов показывают близкие значения с методами, регламентированными нормативно-правовыми актами Украины. Определен ряд недостатков методов предельного равновесия, базирующихся на предельной поверхности скольжения, определяемой по методике проф. Г.Л. Фисенко.

**Ключевые слова:** устойчивость борта карьера, метод конечных элементов, методы предельного равновесия, напряженно-деформированное состояние, коэффициент запаса устойчивости откосов.

### Изоотропты ортадағы беткейлердің тұрақтылығын бағалау әдістерін салыстырмалы талдау

**Аннотация.** Мақалада карьерлердің жиектері мен бүйірлерінің тұрақтылығын және шекті тепе-теңдік әдістерін талдаудың сандық әдістеріне салыстырмалы талдау жасалды. Қойылған міндеттерді шешу үшін K-MINE бағдарламалық қамтамасыз етуіндегі еңісті құрайтын тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін (көлемді салмақ, ішкі үйкеліс бұрышы, ілінісу) және жиек параметрлерінің кездейсоқ жиынтығы үшін тұрақтылық қорының коэффициенттерін анықтау сериясы жүргізілді. Соңғы элементтердің метомымен көлбеу тұрақтылық қорының коэффициенттерін анықтаудың нәтижелері Украинаның нормативтік құқықтық актілерімен реттелетін әдістермен жақын мәндерді көрсетеді. Проф. Г.Л. Фисенко әдістемесімен анықталған сырғанаудың шекті бетіне негізделген шекті тепе-теңдік әдістерінің бірқатар кемшіліктері анықталды.

**Түйінді сөздер:** карьер бортның тұрақтылығы, ақырлы элементтер әдісі, шекті тепе-теңдік әдістері, кернеулі деформацияланған күй, көлбеу тұрақтылық қорының коэффициенті.

### Comparative analysis of methods for assessing slope stability in an isotropic environment

**Abstract.** The article provides a comparative analysis of quantitative methods for analyzing the stability of the edges and sides of quarries and methods of marginal equilibrium. To solve the tasks set, a series of determination of the physical and mechanical properties of the rocks that make up the slope in the K-MINE software (volumetric weight, internal friction angle, clutch) and stability reserve coefficients for a random set of edge parameters was carried out. The results of determining the coefficients of the slope stability fund with the method of the last elements show close values by methods regulated by the regulatory legal acts of Ukraine. Prof. a number of shortcomings of marginal equilibrium methods based on the marginal surface of the slip, determined by the methodology of G.L. Fisenko, are identified.

**Key words:** stability of the quarry side, finite element method, methods of limit equilibrium, stress-strain state, coefficient of slope stability margin.

### Введение

Устойчивость бортов карьеров и отвалов имеет большое значение для обеспечения безопасных условий работы при проектировании и разработке полезных ископаемых открытым способом. Наиболее показательной единицей, показывающей соотношения удерживающих и сдвигающих сил, действующих на борт, является коэффициент запаса устойчивости откоса. Существует множество способов его определения, самыми распространенными на сегодня являются методы: предельного равновесия, численного анализа (метод конечных элементов), вероятностного анализа [1].

Сравнения и поиск различий при использовании различных методов определения устойчивости бортов имеет большое значение, так как влияет на безопасное ведение открытых горных работ. Определенные коэффициенты в теории могут перечить друг другу, так как используются различные подходы к дискретизации расчетной области. Так например, для методов предельного равновесия принято использовать круглоцилиндрическую или ломаную поверхности скольжения, и коэффициент запаса устойчивости определяется относительно поверхности скольжения, которая в некоторых случаях не может полноценно описать реальную поверхность скольжения [2]; метод конечных элементов разделяет всю расчетную область на конечные элементы и использует метод снижения прочности для всех элементов массива, что, в свою очередь, подразумевает необходимость оптимального выбора размера конечных элементов [3].

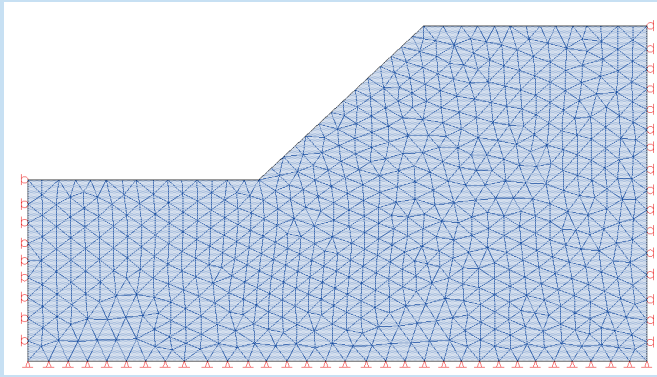
### Анализ методов расчета

Метод конечных элементов относится к методам численного анализа, на сегодняшний день получил широкое распространение для решения многих инженерных и научных задач [4].

Суть метода конечных элементов (МКЭ) сводится к дискретизации пространства на множество конечных элементов (КЭ) (рис. 1), которые представляют собой топологически известные геометрические фигуры (в K-MINE пространство разбивается на треугольники). Треугольники между собой сочленяются (соединяются) в узлах (точках, вершинах), формируя таким образом непрерывность перемещений по всей расчетной области. Каждый треугольник имеет конечное число степеней свободы (степени свободы представляют собой компоненты векторов определяемых перемещений). Поскольку считается, что КЭ сочлены друг с другом в узлах, то поля перемещений считаются непрерывными, а поля деформаций и напряжений могут изменяться [5].

Для нахождения напряженно-деформированного состояния необходимо ввести границы модели (в точках на границах модели перемещения вдоль осей степеней свободы равны 0) на удалении от откоса, чтобы они не влияли на расчет состояния откоса. Матрица жесткости в КЭ строится, исходя из принципов минимизации потенциальной энергии Лагранжа, и предназначена для связывания узловых сил и перемещений. Формирование глобальной матрицы жесткости системы производится путем наложения матриц жесткости КЭ друг на друга [6].





**Рис. 1. Пример построения сети конечных элементов, выполненного в программном обеспечении K-MINE.**

**Сурет 1. K-MINE бағдарламалық жасақтамасында орындалған соңғы элементтер желісін құрудың мысалы.**  
**Figure 1. An example of building a finite element network executed in the K-MINE software.**

Уравнения, связывающие перемещения узлов и узловыи силы, известны из теории упругости. Эти уравнения формируют общую неразрывную систему уравнений, которая выражает равновесия системы и непрерывность перемещений в узлах КЭ [7].

Как известно, в теории упругости используются три группы определяющих уравнений:

- закон равновесия в форме дифференциальных соотношений частных производных внутренних напряжений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\sigma_x}{dx} + \frac{d\tau_{xz}}{dz} + X &= 0 \\ \frac{d\tau_{zx}}{dx} + \frac{d\sigma_z}{dz} + Z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\sigma_x$  и  $\sigma_z$  – нормальные напряжения вдоль осей  $X$  и  $Z$  соответственно;

$\tau_{xz}$  и  $\tau_{zx}$  – касательное напряжение;

$X$  и  $Z$  – компоненты объёмных сил в направлении осей  $X$  и  $Z$ .

- линейные геометрические соотношения Коши связи между перемещениями и деформациями, выражающие непрерывность и относительную малость перемещений:

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx}; \quad \varepsilon_z = \frac{dv}{dz}; \quad \gamma_{xz} = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dz} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_z$  – относительное изменение длины в направлении оси  $X$  и  $Z$  соответственно;

$\gamma_{xz}$  – сдвиговая деформация, отражающая изменение формы элемента в плоскости  $XZ$ .

- линейные физические уравнения (закон Гука) связи между напряжениями и относительными деформациями:

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_z \\ \tau_{xz} \end{pmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xz} \end{pmatrix} \quad (3)$$

где  $\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_z \\ \tau_{xz} \end{pmatrix}$  – вектор напряжений;  $E$  – модуль Юнга;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Суть расчетов сводится к формированию и решению системы линейных уравнений, неизвестным в которых являются перемещения:

$$\{F\} = [K]\{U\}, \quad (4)$$

где  $F$  – вектор-столбец перемещений;

$K$  – матрица жесткости системы;

$U$  – вектор-столбец перемещений.

Поиск коэффициента запаса производится «методом снижения прочности на сдвиг», суть которого состоит в постепенном уменьшении сдвиговых характеристик сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi_f$  пород, слагаемых откос, до момента получения неустойчивого состояния [8]:

$$c_f = \frac{c}{k_{3y}}, \quad (5)$$

$$\varphi_f = \text{artan} \left( \frac{\tan \varphi}{k_{3y}} \right) \quad (6)$$

где  $k_{3y}$  – коэффициент запаса устойчивости.

В K-MINE реализованы методы предельного равновесия (метод многоугольника сил, метод алгебраического сложения сил), суть которых сводится к определению такого коэффициента запаса деления, на который приводит откос в предельное равновесие.

Метод многоугольника сил базируется на предположении о том, что откос находится в равновесии, то есть сдвигающие и удерживающие силы равны между собой. В этом методе к сдвигающим силам относятся (рис. 2): реакция опоры по подошве блока; реакции со стороны смежных блоков; силы гидростатического давления по границам блоков. К удерживающим относятся: силы сцепления, которые действуют по боковым граням блоков; сила, действующая по подошве блока (направленная в противоположную сторону предполагаемому движению), реакции со стороны ниже лежащих блоков [9].

В состоянии предельного равновесия многоугольник сил должен замкнуться. Если многоугольник не замкнут, существует невязка сил  $\Delta F$ , то принятый коэффициент запаса устойчивости не соответствует устойчивости откоса. В этом случае повторяют расчет с другим коэффициентом запаса (снижая или увеличивая его), после чего необходимо определить невязку сил, и, в случае  $\Delta F \neq 0$ , необходимо определить фактический коэффициент запаса по зависимости невязки от коэффициента запаса (рис. 2) [10].

На рис. 3 показан пример расчета методом многоугольника сил в программном обеспечении K-MINE.

Метод алгебраического сложения сил основан на нахождении соотношения сдвигающих  $T_i$ ,  $D_i$  и удерживающих сил  $N_i$ . Стоит отметить, что метод алгебраического сложения сил дает наиболее достоверные значения для невысоких откосов до 100 м и углах внутреннего трения меньше  $20^\circ$ .

На рис. 4 показан пример расчета методом конечных элементов в программном обеспечении K-MINE.

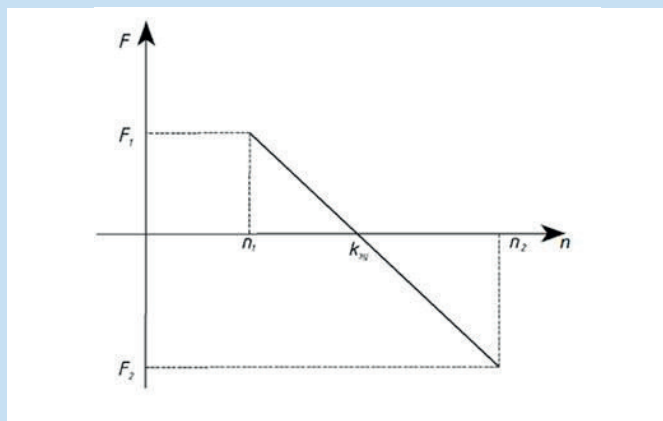


Рис. 2. График к определению фактического коэффициента запаса устойчивости.

Сурет 2. Тұрақтылық қорының нақты коэффициентін анықтау кестесі.

Figure 2. The graph for determining the actual coefficient of stability margin.

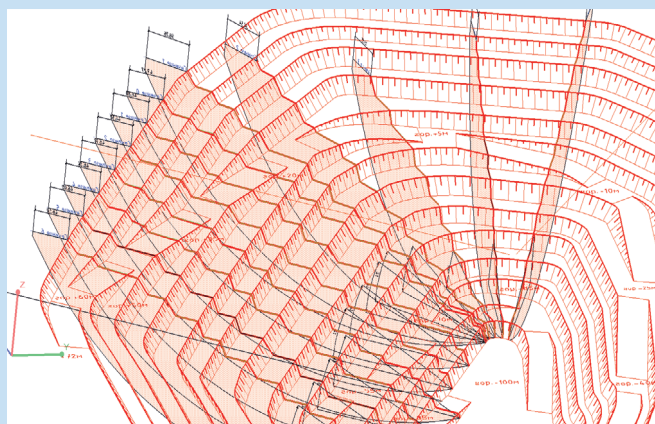


Рис. 3. Пример расчета коэффициента запаса методами предельного равновесия в программном обеспечении K-MINE.

Сурет 3. K-MINE бағдарламалық жасақтамасындағы шекті тепе-теңдік әдістерімен қор коэффициентін есептеу мысалы.

Figure 3. An example of calculating the reserve coefficient using limit equilibrium methods in the K-MINE software.

#### Постановка задачи

Целью этого исследования является сравнение и анализ методов определения коэффициента запаса устойчивости откосов, реализованных в программном обеспечении K-MINE.

#### Методика исследования

Для сравнения методов между собой были определены откосы с различными углами наклона и высотами, физико-механическими свойствами, определены коэффициенты запаса устойчивости для этих откосов (табл. 1-2).

Для анализа и сравнения методов расчетов было использовано программное обеспечение K-MINE ввиду

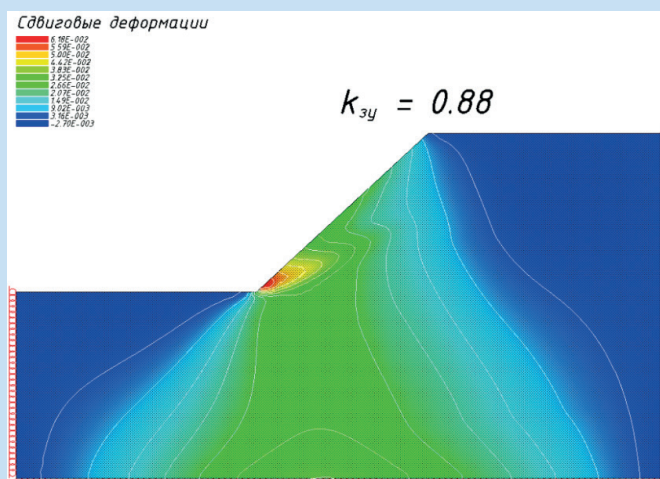


Рис. 4. Пример расчета коэффициента запаса методом МКЭ в программном обеспечении K-MINE.

Сурет 4. K-MINE бағдарламалық жасақтамасындағы мкэ әдісімен қор коэффициентін есептеу мысалы.

Figure 4. An example of calculating the reserve coefficient by the FEM method in the K-MINE software.

наличия вспомогательных модулей, которые упрощают работу инженера-геомеханика. К таким модулям можно отнести модули *Геология, Проектирование, Маркшейдерия*.

Исходные параметры (угол откоса, высота откоса, объемный вес, угол внутреннего трения, сцепления) для получения анализируемых данных определялись случайным образом.

#### Результаты исследования

Как видно из табл. 1, разница в определении коэффициента запаса не превышает 0,1, среднее значение разницы по 19 расчетам составило 0,04, среднее квадратичное отклонение 0,009.

В табл. 2 приведено сравнение результатов расчета коэффициента запаса методом алгебраического сложения сил и методом конечных элементов. Проведено 15 расчетов, максимальная разница составила – 0,11, среднее значение – 0,05, среднее квадратичное отклонение – 0,0142.

На рис. 5-6 приведены диаграммы сравнения полученных коэффициентов запаса

При проведении анализа был обнаружен ряд преимуществ МКЭ по сравнению с методами предельного равновесия регламентированными нормативно-правовыми актами Украины:

*Для метода конечных элементов нет необходимости определять заранее тип поверхности скольжения.*

*Метод конечных элементов может быть использован для расчета неоднородного откоса, не прибегая к усредненному взвешиванию физико-механических свойств пород, слагающих уступ (ярус отвала) или борт карьера.*

*В программном обеспечении K-Mine реализован метод построения поверхности скольжения по методике проф. Г.Л. Фисенко, что позволяет получить единственно воз-*

Таблица 1

Сравнение результатов расчета методом многоугольника сил и методом конечных элементов

Кесте 1

Күштер көпбұрышы әдісімен және ақырлы элементтер әдісімен есептеу нәтижелерін салыстыру

Table 1

Comparison of the calculation results by the force polygon method and the finite element method

Угол откоса, град.	Высота откоса, м	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град.	Уд. сцепление, кг/см <sup>2</sup>	$k_{zy}$ (МС)	$k_{zy}$ (МКЭ)	$\Delta k_{zy}$
52	25	1,98	24	1,65	2,64	2,59	0,05
35	25	1,8	32	0,17	1,14	1,2	0,06
40	16	1,75	33,5	0,15	1,46	1,39	0,07
40	26	1,9	25	0,3	1,25	1,28	0,03
60	30	1,96	14	0,8	1,03	1,07	0,04
45	75	2,04	35	0,1	0,93	0,9	0,03
67	43	2,06	38	0,52	0,99	1,04	0,05
59	79	2,36	21	0,15	0,38	0,38	0
44	55	2,05	25	0,27	0,86	0,8	0,06
60	20	2,09	31	0,46	1,28	1,32	0,04
49	98	2,07	24	0,98	0,94	0,87	0,07
45	47	1,83	19	0,92	1,27	1,32	0,05
59	31	1,7	23	0,34	0,87	0,91	0,04
42	46	1,86	28	0,2	0,98	0,96	0,02
31	12	1,94	41	0,09	1,98	1,93	0,05
46	95	2,11	41	0,67	1,31	1,33	0,02
50	41	1,8	15	0,16	0,51	0,51	0
46	21	1,98	37	0,96	2,58	2,58	0

МС – метод многоугольника сил, МКЭ – метод конечных элементов

Таблица 2

Сравнение результатов расчета методом алгебраического сложения сил и методом конечных элементов

Кесте 2

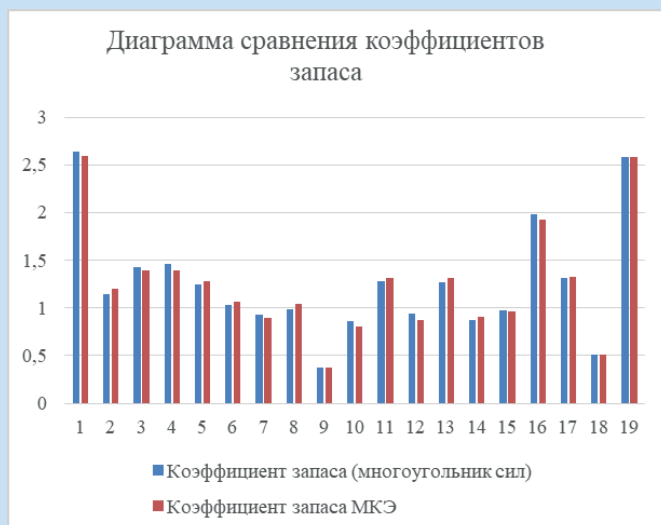
Есептеу нәтижелерін алгебралық күш қосу әдісімен және ақырлы элементтер әдісімен салыстыру

Table 2

Comparison of the calculation results by the algebraic addition of forces and the finite element method

Угол откоса, град.	Высота откоса, м	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град.	Уд. сцепление, кг/см <sup>2</sup>	$k_{zy}$ (АСС)	$k_{zy}$ (МКЭ)	$\Delta k_{zy}$
35	25	1,8	32	0,17	1,11	1,2	0,09
40	26	1,9	25	0,3	1,21	1,28	0,07
60	30	1,96	14	0,8	1,01	1,07	0,06
22	45	2,04	35	0,1	1,46	1,47	0,01
38	84	1,9	25	0,3	0,88	0,83	0,05
59	68	1,94	22	0,73	0,99	0,88	0,11
67	43	2,06	38	0,52	0,96	1,04	0,08
59	79	2,36	21	0,15	0,41	0,38	0,03
44	55	2,05	25	0,27	0,81	0,8	0,01
60	20	2,09	31	0,46	1,35	1,32	0,03
49	98	2,07	24	0,98	0,89	0,87	0,02
45	47	1,83	19	0,92	1,26	1,32	0,06
59	31	1,7	23	0,34	0,83	0,91	0,08
42	46	1,86	28	0,2	0,92	0,96	0,04
50	41	1,8	15	0,16	0,5	0,51	0,01

АСС – метод алгебраического сложения сил, МКЭ – метод конечных элементов



**Рис. 5. Диаграмма сравнения коэффициентов запаса устойчивости откосов, полученных методом многоугольника сил и методом конечных элементов.**

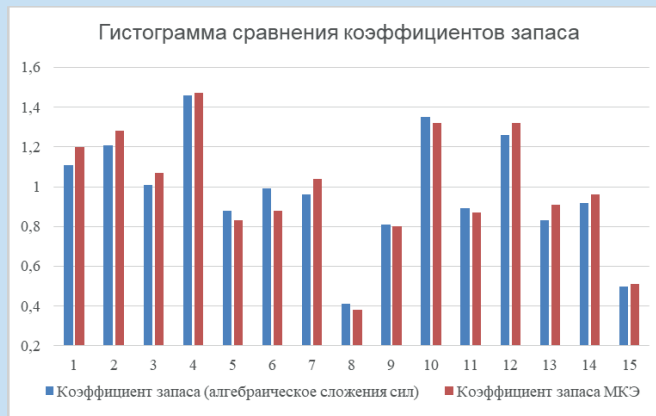
Сурет 5. Күштер көпбұрышы әдісімен және ақырлы элементтер әдісімен алынған беткейлердің тұрақтылық қорының коэффициенттерін салыстыру диаграммасы.

Figure 5. A diagram comparing the coefficients of the slope stability margin obtained by the force polygon method and the finite element method.

можную поверхность скольжения, но этот метод не универсален по сравнению с методами итерационного поиска поверхности скольжения и методом конечных элементов.

#### Выводы

Использование метода конечных элементов для расчета устойчивости бортов карьера (ярусов отвала) дает результаты, практически не отличающиеся от показателей методов предельного равновесия. Зафиксированное



**Рис. 6. Диаграмма сравнения коэффициентов запаса устойчивости откосов, полученных методом алгебраического сложения сил и методом конечных элементов.**

Сурет 6. Күштерді алгебралық қосу әдісімен және ақырлы элементтер әдісімен алынған көлбеу тұрақтылық қорының коэффициенттерін салыстыру диаграммасы.

Figure 6. Diagram of the comparison of the coefficients of the slope stability margin obtained by the algebraic addition of forces and the finite element method.

отклонение коэффициента запаса устойчивости, рассчитанное МКЭ, от регламентированных нормативно-правовыми актами методов составляет в среднем 0.04 (при среднеквадратическом отклонении 0.024). С другой стороны, использование МКЭ выявило ряд его преимуществ по сравнению с другими методами. Это позволяет рекомендовать исследователям и проектировщикам использовать МКЭ в расчете и проектировании уступов и бортов карьеров и отвалов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов: М.: Стройиздат, 1988, С. 6 (на русском языке)
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов: М.: Недра, 1965, С. 7-17 (на русском языке)
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: М.: Мир, 1975, С. 27-34 (на русском языке)
4. Бачурин Л.Л. Решение плоской задачи механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов в пакете Mathcad. // Математика в приложениях. 2003. №3 (3). С. 28-33 (на русском языке)
5. Попов В.Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: М.: Издательство Московского горного университета, 2008, С. 75-83 (на русском языке)
6. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003, С. 47-57 (на русском языке)
7. Griffiths D.V. Анализ устойчивости откосов с помощью конечных элементов: достижения и направления на будущее. / Griffiths D.V., Lane P.A. // Письма по геотехнике. 2019. №9 (2). С. 68-79 (на английском языке)
8. Sun W. Численное моделирование устойчивости склона с использованием метода конечных элементов и метода предельного равновесия. / Sun W., Sun Q. // Международный журнал геомеханики. 2017. №17 (6). С. 44-52 (на английском языке)
9. Li D. Анализ устойчивости склонов в условиях сейсмической нагрузки. / Li D., Zhang W. // Динамика грунтов и сейсмотехника. 2018. №111. С. 1-11 (на английском языке)

10. Коробов В.Г., Шапиро Д.М. Современные подходы к расчету устойчивости откосов. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016, С. 82-84 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Хуан Я.Х. Жер беткейлерінің тұрақтылығы: М.: Құрылыс баспасы, 1988, Б. 6 (орыс тілінде)
2. Фисенко Г.Л. Карьерлер мен үйінділердің тұрақтылығы: М.: Жер қойнауы, 1965, Б. 7-17 (орыс тілінде)
3. Зенкевич О. Техникадағы ақырлы элементтер әдісі: М.: Әлем, 1975, Б. 27-34 (орыс тілінде)
4. Бачурин Л.Л. Mathcad пакетіндегі соңғы элементтер әдісімен деформацияланатын қатты дене механикасының жалпақ мәселесін шешу. // Қосымшалардағы математика. 2003. №3 (3). Б. 28-33 (орыс тілінде)
5. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Карьер беткейлерінің тұрақтылығын басқару: М.: Мәскеу тау-кен университетінің баспасы, 2008, Б. 75-83 (орыс тілінде)
6. Галперин А.М. Ашық тау-кен жұмыстарының геомеханикасы: М.: Мәскеу мемлекеттік тау-кен университетінің баспасы, 2003, Б. 47-57 (орыс тілінде)
7. Griffiths D.V. Соңғы элементтер арқылы беткейлердің тұрақтылығын талдау: жетістіктер мен болашаққа бағыттар. / Griffiths D.V., Lane P.A. // Геотехника хаттары. 2019. №9 (2). Б. 68-79 (ағылшын тілінде)
8. Sun W. Ақырлы элементтер әдісі мен шекті тепе-теңдік әдісін қолдана отырып, көлбеу тұрақтылықты сандық модельдеу. / Sun W., Sun Q. // Халықаралық геомеханика журналы. 2017. №17 (6). Б. 44-52 (ағылшын тілінде)
9. Li D. Сейсмикалық жүктеме жағдайында беткейлердің тұрақтылығын талдау. / Li D., Zhang, W. // Топырақ динамикасы және сейсмотехника. 2018. №111. Б. 1-11 (ағылшын тілінде)
10. Коробов В.Г., Шапиро Д.М. Беткейлердің тұрақтылығын есептеудің заманауи тәсілдері: Воронеж: Воронеж ГАСУ, 2016, Б. 82-84 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Khuan Ya.Kh. Ustoichivost' zemlyanykh otkosov: M.: Stroiizdat, 1988, S. 6 [Huang Y.H. Stability of earthen slopes: M.: Stroyizdat, 1988, P. 6] (in Russian)
2. Fisenko G.L. Ustoichivost' bortov kar'erov i otvalov: M.: Nedra, 1965, S. 7-17 [Fisenko G.L. Stability of quarries and dumps: M.: Subsoil, 1965, P. 7-17] (in Russian)
3. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike: M.: Mir, 1975, S. 27-34 [Zenkevich O. The method of finite elements in the technique: M.: World, 1975, P. 27-34] (in Russian)
4. Bachurin L.L. Reshenie ploskoi zadachi mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela metodom konechnykh elementov v pakete Mathcad. // Matematika v prilozheniyakh. 2003. №3 (3). S. 28-33 [Bachurin L.L. Solution of the flat problem of Deformable solid body mechanics by the method of final elements in the Mathcad package. // Mathematics In Applications. 2003. №3 (3). P. 28-33] (in Russian)
5. Popov V.N., Shpakov P. S., Yunakov Yu.L. Upravlenie ustoichivost'yu kar'ernykh otkosov: M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gornogo universiteta, 2008, S. 75-83 [Popov V.N., Shpakov P.S., Yunakov Yu.L. Management of the stability of Quarry slopes: M.: Moscow mining University Press, 2008, P. 75-83] (in Russian)
6. Gal'perin A.M. Geomekhanika otkrytykh gornykh rabot: M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2003, S. 47-57 [Galperin A.M. Geomechanics of open-pit mining: M.: Moscow State Mining University Press, 2003, P. 47-57] (in Russian)
7. Griffiths D.V. Analysis of slope stability through the latest elements: achievements and directions for the future. / Griffiths D. V., Lane P.A. // Geotechnics letters. 2019. №9 (2). P. 68-79 (in English)
8. Sun W. Numerical modeling of slope stability using the finite element method and the limit equilibrium method. / Sun W., Sun Q. // International Journal of Geomechanics. 2017. №17 (6). P. 44-52 (in English)
9. Li D. Analysis of slope stability under seismic load conditions. / Li D., Zhang W. // Soil dynamics and seismic engineering. 2018. №111. P. 1-11 (in English)
10. Korobov V.G., Shapiro D.M. Sovremennye podkhody k raschetu ustoichivosti otkosov. Voronezh: Voronezhskii GASU, 2016, S. 82-84 [Korobov V.G., Shapiro D.M. Modern approaches to calculating slope stability: Voronezh: Voronezh GASU, 2016, P. 82-84] (in Russian)

**Сведения об авторах:**

**Орынбаев Б.А.**, докторант, кафедра «Горное дело», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [baurgud@mail.ru](mailto:baurgud@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4963-7737>

**Алиев С.Б.**, старший научный сотрудник, профессор, доктор технических наук, академик НАН РК, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН (г. Москва, Россия), [alsamat@gmail.com](mailto:alsamat@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3699-8322>

**Мырзахметов С.С.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Горное дело», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [s.myrzakhmetov@satbayev.university](mailto:s.myrzakhmetov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-3233-2515>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Орынбаев Б.А.**, докторант, «Тау-кен ісі» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Әлиев С.Б.**, аға ғылыми қызметкер, профессор, техника ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА академигі, жер қойнауын кешенді игеру мәселелері институты академик Н.В. Мельников РГА (Мәскеу қ., Ресей)

**Мырзахметов С.С.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Тау-кен ісі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Orynbaev B.A.**, doctoral student, Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Aliyev S.B.**, Senior Researcher, Professor, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Academician N.V. Melnikov Institute of Integrated Subsoil Development, RAS (Moscow, Russia)

**Myrzakhmetov S.S.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

# СПТО КРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

**18-20 марта 2025 г.**  
УВК Тимирязев центр

СПТО КРАНЫ

WWW.CRANE-EXPO.RU



Код МРНТИ 52.45.19

\*С.Р. Бейсенова, М.Б. Барменшинова  
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ФЛОТОМАШИНЫ JAMESON CELL L500

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные методы и оборудование, применяемые для повышения эффективности процессов обогащения на горно-добывающих предприятиях. Особое внимание уделено внедрению технологий, которые способствуют улучшению производственных показателей, в частности, процесса флотации. Работа посвящена анализу факторов и условий проведения опытно-промышленных испытаний на флотомашине Jameson Cell L500 на металлургическом заводе. Основной задачей тестирования пилотной установки является повышение извлечения золота в концентрат при сохранении качества готового продукта на различных этапах флотационного цикла завода. Также рассматриваются перспективы дальнейших исследований в этой области, которые могут привести к оптимизации процессов и улучшению результатов обогащения.

**Ключевые слова:** руда, флотация, испытания, концентрат, пульпа, извлечение, золото.

**Jameson Cell L500 флотомашинаның тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтарын жүргізу процесінде флотациялық байытудың технологиялық көрсеткіштерін анықтау**

**Аңдатпа.** Мақалада тау-кен кәсіпорындарында байыту процесінің тиімділігін арттыру үшін қолданылатын заманауи әдістер мен жабдықтар қарастырылады. Өндірістік көрсеткіштерді, атап айтқанда флотация процесін жақсартуға ықпал ететін технологияларды енгізуге ерекше назар аударылады. Тәжірибелер, металлургиялық зауытында, Jameson Cell флотомашинасында тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар жүргізудің факторлары мен шарттарын талдауға арналған. Пилоттық қондырғыны сынаудың негізгі міндеті, зауыттың флотациялық циклінің әртүрлі кезеңдерінде дайын өнімнің сапасын сақтай отырып, концентратта алтынның сапасын арттыру болып табылады.

**Түйінді сөздер:** кен, флотация, сынақтар, концентрат, пульпа, бағалы затты бөліп алу дәрежесі, алтын.

**Determination of technological indicators of flotation enrichment, in the process of pilot tests of flotation machine Jameson Cell L500**

**Abstract.** The article deals with modern methods and equipment used to improve the efficiency of beneficiation processes at mining enterprises. Special attention is paid to the introduction of technologies that contribute to the improvement of production performance, in particular the flotation process. The work is devoted to the analysis of factors and conditions of pilot testing on the Jameson Cell flotation machine at the metallurgical plant. The main task of testing the pilot plant is to increase the extraction of gold into concentrate while maintaining the quality of the finished product at various stages of the flotation cycle of the plant.

**Key words:** ore, flotation, testing, concentrate, slurry, recovery, gold.

### Введение

Золоторудное месторождение, расположенное в 70 км от Семей в Восточно-Казахстанской области, содержит два типа руд: окисленные и первичные, перекрытые рыхлыми кайнозойскими отложениями. Флотационное извлечение золота зависит от содержания металла в руде: при снижении его на 1 г/т эффективность извлечения падает на 1-2% (для руды с содержанием золота 3-8 г/т). Важную роль также играет выход концентрата, который варьирует от 12 до 18%. Общий уровень извлечения золота на металлургическом заводе составляет 79-86%, в зависимости от содержания золота и состава рудных тел [1-3].

В условиях быстрого технологического прогресса горнодобывающая промышленность нуждается в инновационных решениях. Одним из ключевых направлений является внедрение современных методов обогащения золото-содержащих руд, что повышает эффективность добычи и снижает экологический ущерб. Для золотодобывающего рудника проведены опытно-промышленные испытания флотационной установки Jameson Cell L500.

Цель работы – оценка эффективности использования Jameson Cell L500 в различных этапах флотации золото-содержащей руды, включая продукты первой и второй основной флотации, а также первой перерывной флотации.

Флотомашина Jameson Cell сочетает в себе новый метод взаимодействия между воздухом и пульпой, при котором падающая струя естественным образом вовлекает

воздух, обеспечивая его высокую концентрацию относительно объема пульпы, малый размер пузырьков и тесный контакт между пузырьками и частицами материала. Одно из главных преимуществ флотомашин, по сравнению с аналогами, заключается в том, что для конструирования камер Jameson Cell не требуются коэффициенты масштабирования, так как скорость струи, захват воздуха и гидродинамические условия для смешивания одинаковы для камер и размеров. Технологические показатели, получаемые при работе на пилотной установке, могут без поправочных коэффициентов приниматься за реально ожидаемые на фабрике.

Принятая на фабрике технологическая схема предусматривает первичное двухстадийное измельчение с конечным продуктом крупностью 55% кл. -0,074 мм и плотностью 36%, который направляется на 1 основную флотацию. Основными реагентами, применяемыми в процессе флотации, являются собиратели, депрессоры и пенообразователи, каждый из которых влияет на эффективность и избирательность обогащения. Собиратели придают поверхностям минеральных частиц гидрофобные свойства, депрессоры предотвращают флотацию нежелательных минералов, а пенообразователи обеспечивают устойчивость пены и облегчают выделение полезного компонента [4-5]. Хвосты основной флотации 1 и 2 линии доизмельчаются до крупности 84% кл. -0,074 мм и плотностью 28% и направляются на 2 основную флотацию. На фабрике принята классическая схема коллективной флотации с двумя

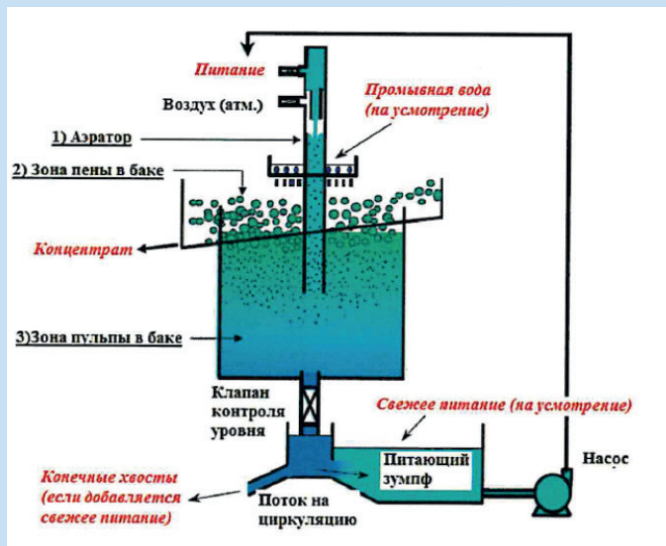


Рис. 1. Принципиальная схема работы пилотной установки Jameson Cell L500.

Сурет 1. Jameson cell L500 пилоттық қондырғысының жұмыс сұлбасы.

Figure 1. Schematic diagram of the Jameson Cell L500 pilot machine.

перечистными операциями. Основные применяемые реагенты в процессе флотации на период промышленных испытаний в качестве собирателя –бутиловый ксантогенат калия концентрацией рабочего раствора 5-7%, вспениватель – метилизобутилкарбинол (МИБК) – 100%, депрессор – полидекстроз, концентрация рабочего раствора – 10% [6-7].

Промышленные испытания пилотной установки проводились в одиннадцатичасовом рабочем режиме с учетом отбора 9 разовых проб, из них формировались 3 накопительные представительные пробы для химического анализа и набора статистических данных.

Подача исходного питания во флотационную машину Jameson Cell [8-10] осуществляется из трубы объединенного слива гидроциклонов на одной из линий флотации (Труд либо Усоль). Расход реагентов устанавливается согласно Технологическому регламенту и может быть скорректирован в процессе испытаний. Целью является снижение циркулирующих нагрузок, повышение качества концентрата, снижение итоговых хвостов.

Time example	Test No.	Washwater			Froth depth (mm)			Air/pulp ratio		
		Off	On-Low/Med	On - High	Shallow (~150mm)	Medium (150mm<L<300mm)	Deep (>300mm)	Low Air (Vac >20)	Medium Air (10-20)	High Air <10
8:00	1	0	0.4 m³/h	0.8 m³/h	60%	70%	80%	-22	-15	-8
8:30	2	x				x		x		
9:00	3	x				x			x	
9:30	4			x		x			x	
10:00	5			x		x				x
10:30	6	x				x				x
11:00	7	x			x					x
11:30	8			x	x					x
12:00	9			x	x				x	
13:00	10	x			x					x
13:30	11	x			x			x		
14:00	12			x	x					x
14:30	13			x				x		
15:00	14	x					x	x		
15:30	15	x					x		x	
16:00	16			x			x		x	
16:30	17			x			x			x
17:00	18	x					x			x

Рис. 2. Матрица выполнения исследований.

Сурет 2. Зерттеулерді орындау матрицасы.

Figure 2. Research execution matrix.

Основная поставленная задача тестирования пилотной установки Jameson Cell на металлургическом заводе заключалась в повышении извлечения золота в концентрат с сохранением показателей качества готового концентрата, на сколько это возможно в точках операций флотационного цикла.

Результаты

Результаты опробования на трех точках цикла флотации с распределением содержания указанных металлов, % тв и извлечение приведены в табл. 1.

Рекомендуемый диаметр диафрагмы для точки операции основной флотации – 18 мм.

Диафрагма 16 мм демонстрирует снижение извлечения и качества концентрата. При установке диафрагмы 20 мм наблюдалось снижение давления до 90 кПа при рабочем 145 кПа.

Тесты на точке 2 основной флотации проводились на диафрагме 18 мм на основании результатов опыта 1 основной флотации.



Рис. 3. Влияние выбора размера диафрагмы на технологические показатели извлечения.

Сурет 3. Диафрагма өлшемін таңдаудың технологиялық бөліп алу дәрежесіне әсері.

Figure 3. The influence of the choice of the diaphragm size on the technological parameters of extraction.



Рис. 4. Влияние выбора размера диафрагмы на технологические показатели содержания.

Сурет 4. Диафрагма өлшемін таңдаудың технологиялық бағалы зат үлесіне әсері.

Figure 4. The influence of the choice of the aperture size on the technological parameters of the content.



Таблица 1

Промежуточные результаты сводных испытаний

Кесте 1

Жиынтық сынақтардың аралық нәтижелері

Table 1

Interim results of summary tests 1

Дата	Наименование пробы	% тв.	Au, г/т	S сульф., %	CO <sub>3</sub> , %	As, %	Fe, %	Изв-не, %
27.08.2023	Общее питание флотации	33	5,3	1,80	5,17			
	Питание флотации Jameson Cell L500	30	4,5	0,95	5,22	0,32	2,32	
	Концентрат 1 осн. 1 стадии Jameson Cell L500	15	111,9	22,92	1,23	9,39	29,37	
	Хвосты 1 осн. 1 стадии Jameson Cell L500	27	3,6	0,78	5,29	0,27	2,17	33,44
01.09.2023	Общее питание флотации	30	5,5	1,23	5,05			
	Питание флотации 2 осн. Jameson Cell L500	25	5,5	1,58	4,55	0,57	3,11	
	Концентрат 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	23	27,2	8,00	2,03	2,88	12,41	
	Хвосты 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	26	1,9	0,64	4,99	0,21	1,69	69,80
03.09.2023	Общее питание флотации	26	5,3	1,29	4,75			
	Питание флотации Jameson Cell L500	27	4,1	7,91	0,86	0,43	2,91	
	Концентрат 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	28	36,9	12,11	4,13	3,85	17,79	
	Хвосты 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	25	2,2	1,24	1,57	0,21	1,99	49,82
06.11.2023	Питание 1 переч Jameson Cell L500	33	9,9	5,01	1,60	1,17	8,08	
	Концентрат 1 перерешетки Jameson Cell L500	45	19,6	7,20	1,31	2,10	10,72	
	Хвосты 1 перерешетки Jameson Cell L500	23	8,9	5,07	1,71	1,04	8,32	18,82
07.11.2023	Питание 1 перерешетки Jameson Cell L500	39	10,2	5,16	1,57	1,24	8,14	
	Концентрат 1 перерешетки Jameson Cell L500	47	20,6	8,00	1,14	2,71	13,53	
	Хвосты 1 перерешетки Jameson Cell L500	30	8,6	4,72	1,65	1,08	1,54	26,66

**Заклучение**

Результаты тестов показали возможности работы пилотной установки Jameson Cell для трех точек флотации, протестированных с августа по ноябрь за 90 дней. Испытания прерывались из-за ППР и снижения производительности фабрики до 40 тонн в час. Работа установки была нестабильна, поэтому полученные результаты не представляют максимальные возможности оборудования. Сценарий предусматривает установку ячеек Jameson Cell на операциях первой основной и первой перерешеточной флотации. Извлечение **Au** составляет 90,7% при содержании 42,2 г/т, что дает прирост в 4% по сравнению с текущими показателями фабрики.

Ячейка первой перерешеточной флотации будет работать в режиме скальпирования, что поможет снизить цир-

куляцию золотосодержащих шламов на стадию второй основной флотации и минимизировать потери на этапе контрольной флотации. Минералогический анализ руды показывает, что арсенопиритовые сростки размером 38 мкм концентрируются в классах 5-20 мкм. Традиционные пневмомеханические флотомашины плохо справляются с классом 5-20 мкм, тогда как ячейки Jameson Cell эффективно работают с этими частицами благодаря своим конструктивным особенностям.

**Благодарность**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP19680182).*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Технологический регламент металлургического завода АО «ФИК «АЛЕЛ», ТР 01-2016, С. 115 (на русском языке)
2. Федотов К.В., Никольская Н.И. Обогащение полезных ископаемых. Проектирование обогатительных фабрик: Санкт-Петербург: Недра, 2016, С. 236 (на русском языке)
3. Технологический регламент «Производственного цеха инновационной технологии NiTeCC», 2019, С. 99 (на русском языке)
4. Андреев С.Н. Теория и практика флотации руд: М.: Недра, 2018, С. 438 (на русском языке)
5. Львов А.И. Флотация и реагентные режимы: Теория и практика: Санкт-Петербург: ГИОРД, 2017, С. 368 (на русском языке)

6. Сорокин М.М. Флотационные методы обогащения. Химические основы флотации: Учеб. пособие. М.: Изд. Дом МИСиС, 2010, С. 409 (на русском языке)
7. Liu Y. Влияние флотационных реагентов на эффективность флотации в флотомашине Джеймсона. / Liu Y., Xu H. // Инженерия минералов. 2016. Т. 99. С. 99-106 (на английском языке)
8. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: Учебник. – 4-е изд., переработ. и доп. М.: Издательство «Горная книга», 2016, С. 595 (на русском языке)
9. Харрис Р.Д. Совершенствование проектирования и эксплуатации флотомашин Джеймсона для флотации мелких частиц. / Харрис Р.Д., Кросс Р. // Международный журнал процессов обогащения. 2018. Т. 171. С. 36-43 (на английском языке)
10. Хан А. Последние достижения в технологии флотации. / Хан А., Тивари А. // Инженерия минералов. 2016. Т. 92. С. 99-108 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «АЛЕЛ» ФИК» АҚ металлургия зауытының технологиялық регламенті, ТР 01-2016, Б. 115 (орыс тілінде)
2. Федотов К.В., Никольская Н.И. Пайдалы қазбаларды байыту. Байыту фабрикаларын жобалау: Санкт-Петербург: Недра, 2016, Б. 236 (орыс тілінде)
3. «HiTeCC инновациялық технологиясының өндірістік цехы» технологиялық регламенті, 2019, Б. 99 (орыс тілінде)
4. Андреев С.Н. Кендерді флотациялау теориясы мен практикасы: М.: Недра, 2018, Б. 438 (орыс тілінде)
5. Львов А.И. Флотация және реагенттік режимдер: Теория және практика: Санкт-Петербург: ГИОРД, 2017, Б. 368 (орыс тілінде)
6. Сорокин М.М. Байытудың флотациялық әдістері. Флотацияның химиялық негіздері: Оқу. әдістемесі. М.: Басылым Миссис Юйі, 2010, Б. 409 (орыс тілінде)
7. Liu Y. Флотациялық реагенттердің Джеймсон флотациялық машинадағы флотация тиімділігіне әсері. / Liu Y., Xu H. // Минералды инженерия. 2016. Т. 99. Б. 99-106 (ағылшын тілінде)
8. Абрамов А.А. Флотациялық байыту әдістері: Оқулық. – 4-ші басылым, қайта қаралғ. және өңд. М.: Баспа «Тау кітабы», 2016, Б. 595 (орыс тілінде)
9. Харрис Р.Д. Ұсақ бөлшектерді флотациялау үшін джеймсон флотомашиналарын жобалау мен пайдалануды жетілдіру. / Харрис Р.Д., Кросс Р. // Халықаралық байыту процестері журналы. 2018. Т. 171. Б. 36-43 (ағылшын тілінде)
10. Хан А. Флотация технологиясының соңғы жетістіктері. / Хан А., Тварі А. // Минералды инженерия. 2016. Т. 92. Б. 99-108 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Tekhnologicheskii reglament metallurgicheskogo zavoda AO «FIK «ALEL», TR 01-2016, S. 115 [Technological regulations of the metallurgical plant of JSC «FIC «ALEL», TR 01-2016, P. 115] (in Russian)
2. Fedotov K.V., N.I. Nikolskaia. Obogashchenie poleznykh iskopaemykh. Proektirovanie obogatitelnykh fabrik: Sankt-Peterburg: Nedra, 2016, S. 236 [Fedotov K.V., Nikolskaya N.I. Mineral processing. Design of processing plants: Saint Petersburg: Nedra, 2016, P. 236] (in Russian)
3. Tekhnologicheskii reglament «Proizvodstvennogo tsekha innovatsionnoi tekhnologii HiTeCC», 2019, S. 99 [Technological regulations of the «HiTeCC innovative technology production workshop», 2019, P. 99] (in Russian)
4. Andreev S.N. Teoriya i praktika flotacii rud: M.: Nedra, 2018, S. 438 [Andreev S.N. Theory and practice of ore flotation: M.: Nedra, 2018, P. 438] (in Russian)
5. L'vov A.I. Flotaciya i reagentnye rezhimy: Teoriya i praktika: Sankt-Peterburg: GIORД, 2017, S. 368 [Lvov A.I. Flotation and reagent modes: Theory and practice: St. Petersburg: GIORД, 2017, P. 368] (in Russian)
6. Sorokin M.M. Flotatsionnye metody obogashcheniia. Khimicheskie osnovy flotatsii: Ucheb. posobie. M.: Izd. Dom MISiS, 2010, S. 409 [Sorokin M.M. Flotation methods of enrichment. Chemical bases of flotation: Textbook. M.: Ed. House of MISiS, 2010, p. 409] (in Russian)
7. Liu Y. The effect of flotation reagents on the flotation performance of Jameson Cell. / Liu Y., Xu H. // Minerals Engineering. 2016. Vol. 99. P. 99-106 (in English)
8. Abramov A.A. Flotatsionnye metody obogashcheniya: Ucheb. – 4-e izd., pererabot. i dop. M.: Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2016, S. 595 [Abramov A.A. Flotation methods of enrichment: Textbook. – 4th ed., revised. and additional. M.: Publishing House «Mountain book», 2016, P. 595] (in Russian)

9. Harris P.J. *Advancements in the design and operation of Jameson Cells for fine particle flotation.* / Harris P.J., Crouse P. // *International Journal of Mineral Processing.* 2018. Vol. 171. P. 36-43 (in English)
10. Khan A. *Recent Advances in Flotation Technology.* / Khan A., Tiwari A. // *Minerals Engineering.* 2016. Vol. 92. P. 99-108 (in English)

**Информация об авторах:**

**Бейсенова С.Р.**, магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [saltanat.beisenova97@gmail.com](mailto:saltanat.beisenova97@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0005-0786-974X>

**Барменишинова М.Б.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [m.barmenshinova@satbayev.university](mailto:m.barmenshinova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Бейсенова С.Р.**, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының магистранты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

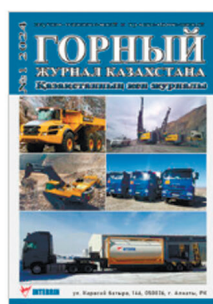
**Барменишинова М.Б.**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Beisenova S.R.**, undergraduate student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Barmenshinova M.B.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



## ПОДПИСКА' 2025 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

POST-DTS@YANDEX.KZ / +7 747 343 15 02 / MINMAG.KZ

Код МРНТИ 87.15.09

Г.А. Исенгалиева, \*Г.А. Гатаулина, С.К. Алмат, А.А. Тогизбаева  
Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова (г. Актюбе, Казахстан)

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ БАССЕЙНА РЕКИ ЭМБА И ОЧИСТКА ИХ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

**Аннотация.** Научная статья посвящена изучению серьезной проблемы загрязнения почв нефтепродуктами в бассейне реки Эмба. Исследование направлено на анализ воздействия нефтепродуктов на окружающую среду и разработку эффективных стратегий управления рисками и санации. Эта статья направлена на предоставление комплексного взгляда на проблему загрязнения почв нефтепродуктами в бассейне реки Эмба и предлагает практические подходы к ее решению с учетом научных, экологических и социальных аспектов с использованием углеродного сорбента. В настоящее время углеродные сорбенты рассматриваются как совокупность графитоподобных кристаллов, размер которых зависит от природы исходного материала, температуры его разложения и способности активации.

**Ключевые слова:** загрязнение почв, бассейн реки Эмба, нефтепродукты, экологические проблемы, почвенный покров, источники загрязнения, распространение загрязнений, экологические последствия, мониторинг загрязнений, стратегии управления рисками.

### Ембі өзені бассейнінің топырақтың ластануы және оларды мұнай өнімдерінен тазарту

**Андратпа.** Ғылыми мақала Ембі өзенінің бассейніндегі топырақтың мұнай өнімдерімен ластануының күрделі мәселесін зерттеуге арналған. Зерттеу мұнай өнімдерінің қоршаған ортаға әсерін талдауға және тәуекелдерді басқару мен санитарлық тазалаудың тиімді стратегияларын жасауға бағытталған. Бұл мақала Ембі өзенінің бассейніндегі топырақтың мұнай өнімдерімен ластануы мәселесіне жан-жақты көзқарас беруге бағытталған және көміртекті сорбентті қолдана отырып, ғылыми, экологиялық және әлеуметтік аспектілерді ескере отырып, оны шешудің практикалық тәсілдерін ұсынады. Қазіргі уақытта көміртекті сорбенттер мөлшері бастапқы материалдың табиғатына, оның ыдырау температурасына және белсендіру қабілетіне байланысты графит тәрізді кристаллиттердің жиынтығы ретінде қарастырылады.

**Түйінді сөздер:** топырақтың ластануы, Емба өзенінің бассейні, мұнай өнімдері, экологиялық мәселелер, жер жамылғысы, ластану көздері, ластанудың таралуы, экологиялық салдары, ластануды бақылау, тәуекелдерді басқару стратегиялары.

### Pollution of soils in the Emba river basin and their cleaning of petroleum products

**Abstract.** The scientific article is devoted to the study of the serious problem of soil pollution with petroleum products in the Emba River basin. The research is aimed at analyzing the impact of petroleum products on the environment and developing effective risk management and rehabilitation strategies. This article aims to provide a comprehensive look at the problem of soil pollution with petroleum products in the Emba River basin and offers practical approaches to solving it, taking into account scientific, environmental and social aspects using a carbon sorbent. Currently, carbon sorbents are considered as a set of graphite-like crystallites, the size of which depends on the nature of the source material, its decomposition temperature and activation ability.

**Key words:** soil pollution, Emba River basin, petroleum products, environmental problems, soil cover, pollution sources, pollution spread, environmental consequences, pollution monitoring, risk management strategies.

### Введение

В связи с ростом цен на углеродные материалы появилась необходимость в применении собственных недорогих, доступных источников сырья. Таким сырьем послужили сельскохозяйственные отходы, а именно отходы рисопереработки – рисовая шелуха, образующаяся в процессе переработки рисовой шелухи.

В современной промышленности углеродный сорбент, полученный из рисовой шелухи, находит все возрастающее использование в силу своей универсальной способности поглощать различные вещества как из газов, так и из растворов.

### Актуальность

В республике выдвигаются преимущественно проблема локализации, устранения загрязнений, разработка способа утилизации отходов нефтедобычи в связи с активно повышающимся объемом добычи нефти, а также крупномасштабными нефтяными загрязнениями окружающей среды.

Актюбинская область находится в положении зон особого экологического напряжения Казахстана. Влиянием на экологическую ситуацию, прежде всего, являются антропогенные факторы – интенсивное загрязнение атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, а через них почвенного и растительного покрова тяжелыми металлами, радионуклидами, нефтепродуктами и другими вредными веществами. Проблема утилизации нефтяных отходов и грунта, загрязненного нефтью, очень важна, описаны и предложены различные варианты утилизации отходов, тем не менее, в зависимости от состава и содержания органической и минеральной фаз в отходах, от типа нефти

месторождений, эти предложенные методы утилизации все еще недостаточны.

### Материал и методы исследований

Материал для работы был получен в ходе проведения полевых работ по очистке нефтезагрязненных почв в 2022 г., а также аналитических лабораторных исследований. Отбор проб почвы на химический анализ, их хранение осуществлялись согласно ГОСТам. Пробы почвы были проанализированы в испытательной лаборатории с использованием общепринятых методик.

Целью исследования является разработка нового метода по очищению почв от различных видов нефтепродуктов, основанного на модернизации ранее существующих способов. В процессе работы были использованы теоретический и аналитический методы исследования. При теоретическом методе рассматривались литературные источники по существующим методам очищения грунтов, о применяемых российскими предприятиями и наиболее распространенных способах, изучалась литература по работам, связанным с грунтами в области промышленного и гражданского строительства. При аналитическом методе сделан анализ изученной литературы, подобран наиболее эффективный метод очищения, выбраны оборудование для производства работ и рабочая жидкость, с помощью которой будет проводиться очищение. Результатом исследования является разработанный метод по очищению почвы от нефтепродуктов, заключающийся в использовании углеродного сорбента, полученного путем пиролиза рисовой шелухи. Исследование проводилось на территории города Актюбе. По итогам исследования сделаны выводы о том, что данный метод является очень простым и дает воз-

возможность наглядно наблюдать степень очищения почвы.

Актюбинская область занимает 75% территории Прикаспийской низменности. Водные ресурсы области представлены рекой Урал и ее притоками: Илек, Хобда, Орь, а также рекой Эмба с ее притоками Темир, Атжаксы, Кундузды. Распределение речной сети на территории Урало-Эмбинского физико-географического района обусловлено наличием на юго-западе Каспийского моря и на северо-востоке горных сооружений Южного Урала, поэтому реки здесь имеют общее направление течения с северо-востока на юго-запад. По особенностям формирования гидрографической сети территория относится к подрайону «Бессточные реки восточной части Прикаспийской низменности». Реки маловодные с резко выраженным преобладанием стока в весенний период.

Река Эмба начинается на западном склоне Мугалжарских гор. Длина реки 712 км, общая площадь водосбора 40400 кв. км, в пределах области – 34800 кв. км. Река Эмба используется для водоснабжения населения, орошения и водопоя скота, любительской рыбалки. В многоводные годы река имела связь с Каспийским морем. В бассейне реки находятся месторождения нефти и газа, в частности месторождение Жанажол.

В данной статье мы хотим остановиться на очистке почвы от нефтепродуктов с использованием углеродного сорбента. В современной промышленности углеродные сорбенты находят все возрастающее использование в силу их универсальной способности поглощать различные вещества как из газов, так и из растворов.

Чрезвычайный интерес представляют наши исследования по применению углеродного сорбента, полученного пиролизом рисовой шелухи, для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами.

В современной промышленности углеродные сорбенты все чаще используются из-за их способности эффективно улавливать различные вещества из газов и растворов. Сегодня углеродные сорбенты оцениваются как агрегаты кристаллов, размер которых зависит от исходного материала, температуры разложения и активационной способности. Их источниками могут быть древесина, нефтепродукты, различные виды угля, скорлупа кокосового ореха и фруктовые косточки. В Казахстане долгое время углеродные сорбенты поставлялись из-за границы, но из-за роста

цен на сырье в стране возникла необходимость использовать местные ресурсы, такие как сельскохозяйственные отходы, включая рисовую шелуху и лигнинные остатки. Это открывает возможности для производства фитосорбентов в Казахстане. На рисоперерабатывающих заводах страны годовой объем рисовой шелухи достигает 50 тыс. тонн, большая часть которой пока просто выбрасывается, создавая экологические проблемы. Исследования по использованию углеродного сорбента, полученного из рисовой шелухи, для очистки почв от нефтепродуктов представляют большой интерес.

Известно, что одной из крупных экологических проблем нефтехранилищ, нефтедобывающих и занимающихся транспортом нефти и нефтепродуктов предприятий, является загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами. Загрязненные земли непригодны для использования в сельском хозяйстве.

В связи с этим возникает необходимость проведения биоремедиации замасоченных территорий. Это трудоемкая, дорогостоящая и продолжительная процедура. В лабораторных условиях проведены исследования по очистке нефтесодержащих почв. Для проведения исследования использовались почвы с месторождения Жанажол с содержанием нефтепродуктов 3,82 мг/кг. Для очистки почвы применяли углеродсодержащий сорбент в виде легкой стружки, имеющий следующий состав: C – 50-52%, SiO<sub>2</sub> – 40-42% и Σ неорганических примесей 2-5%.

А также в исследованиях почвенного покрова показали Zc, равный 2,5, что соответствует низкому уровню загрязнения. По лабораторным данным почва поселка загрязнена медью (1,3 ПДК), никелем (1,0 ПДК) и хромом (2,1 ПДК). Уровни содержания исследуемых химических веществ, близкие к кларковым значениям, не обнаружены. В пробах поверхностной воды (р. Эмба) концентрация фенола достигала 6,2 ПДК, биохимическое потребление кислорода (БПК) и окисляемость превышали гигиенические нормативы соответственно в 2,7 и 1,0 раза. Концентрации свинца, кадмия, ртути, селена, меди, хрома, никеля, мышьяка не превышали нормативных показателей.

Почвенный покров (3 критерия): 1) индекс загрязнения почвы (Zc); 2) кратность превышения ПДК, приоритетных по опасности вредных химических веществ; 3) показатель химического загрязнения (ПХЗ).

Таблица 1

**Результаты очистки почвы от нефтепродуктов**

Кесте 1

**Мұнай өнімдерінен топырақты тазарту нәтижелері**

Table 1

**Results of soil purification from petroleum products**

Место отбора пробы	№ пробы	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		Эффективность поглощения, мг н/п г сорбента
		До эксперимента	После эксперимента	
Месторождение Жанажол	1	3,82	0,90	0,40
	2	3,82	1,30	0,18
	3	3,82	1,18	0,12
	4	3,82	3,82	

Повышенные концентрации в почве меди, никеля и хрома свидетельствуют не только о горно-геологических особенностях грунта, но и отражают загрязнение почвы нефтью, буровыми сточными водами и буровым шламом. Наличие в воде открытых водоемов и, в частности, реки Эмба (Жем) фенолов, также свидетельствует о специфическом техногенном загрязнении водоисточника. Проведенное эколого-гигиеническое ранжирование территорий населенных пунктов позволило констатировать, что состояние окружающей природной среды нужно рассматривать как кризисное. Все вышеизложенное диктует необходимость совершенствования системы лабораторного контроля за загрязнением атмосферного воздуха, почвы, воды в нефтегазодобывающих районах, а также разработки наиболее значимых эколого-гигиенических показателей, характеризующих качество состояния объектов окружающей природной среды.

### Полученные результаты и их обсуждение

Из табл. 1 видно, что если в исходной пробе содержание нефтепродуктов мало, то эффективно очищает малая концентрация сорбента, например, в почвах с содержанием 3,82 мг/кг при 5 граммах сорбента очищение прошло эффективно (1 проба – 5 г сорбента, 2 – 10 г сорбента, 3-15 г сорбента, 4 – контрольная). Исходя из вышеописанного эксперимента, данный углеродный сорбент является эффективным для очистки почвы в естественных условиях.

### Выводы

Основные загрязняющие вещества (хром, сульфаты, нефтепродукты) распределены в водах Актюбинского водохранилища в целом равномерно; острая токсичность вод и повышенное загрязнение донных отложений характерны для локальных участков водоема, прилегающих к урбанизированной зоне.

Уровень накопления загрязняющих веществ в высшей водной растительности определяется степенью зарастания и проточности мелководных участков, а также физиологическим состоянием и типом самой водной растительности. По возрастанию содержания тяжелых металлов в фитомассе высшая водная растительность располагается в следующем порядке: плавающая – прибрежноводная – погруженная.

Мелководные участки Актюбинского водохранилища депонируют в своих компонентах около 10-20% тяжелых металлов и 40-70% биогенных элементов от их общего накопления в водохранилище, выполняя роль естественного биофильтра и способствуя самоочищению водоема.

Таким образом, использование углеродного сорбента для очистки загрязненных нефтесодержащих почв решает ряд экологических проблем: прежде всего, могут быть ликвидированы отвалы рисовой шелухи, при разложении которой выделяются токсичные газы, появляется возможность очистить загрязненные нефтесодержащие почвы, рекультивировать их и вернуть эти участки земли для сельскохозяйственных посадок. Все это будет способствовать улучшению состояния окружающей среды.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кристофер Э. Экпньонг. Последние достижения в области охраны труда и/или окружающей среды у работников, подвергающихся воздействию бензиновых соединений. / Кристофер Э. Экпньонг, Асуко Э. // *Международный журнал медицины труда и гигиены окружающей среды*. 2017. №30 (1). С. 1-26 (на английском языке)
2. Женди Ванг. Экологическая экспертиза разливов нефти: снятие отпечатков пальцев и идентификация источника. / Женди Ванг, Скотт А. Стаут, Пол М. Фингас. // *Elsevier Science*. 2016. С. 381-403 (на английском языке)
3. Демельханов М.Д. Экологические последствия разливов нефти. / М.Д. Демельханов, З.П. Оказова, И.М. Чупанова. // *Успехи современного естествознания*. 2015. №12. С. 91-94 (на русском языке)
4. Цзэн-Тянь Ли, Хао-Тонг Ву, Ван-И Чен, Фу-Ан Хе, Де-Хао Ли. Получение магнитных супергидрофобных меламиновых губок для эффективного разделения нефти и воды. // *Технология разделения и очистки*. 2019. Т. 212. С. 40-50 (на английском языке)
5. Корнилов А.С. Управление многосредовым риском для здоровья населения промышленно развитых городов Свердловской области. / А.С. Корнилов, Л.И. Привалова, Е.А. Кузьмина, С.В. Ярушин и др. // *Гигиена и санитария*. 2015. №2. С. 123-128 (на русском языке)
6. Бабаев Э.Р. Особенности преобразования углеводородного состава нефтей Апшеронского полуострова в процессе их микробиологической деградации в почве. // *Территория Нефтегаз*. 2018. №6. С. 104-112 (на русском языке)
7. Рахманова Г.Ф. Влияние наносорбента на процессы биоремедиации нефтезагрязненной почвы. / Г.Ф. Рахманова, Н.Л. Шаронова, И.А. Дегтярева. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2016. Т. 19. №5. С. 149-152 (на русском языке)
8. Бакиров А.Б. Приоритетные направления научных исследований в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности. / А.Б. Бакиров, Г.Г. Гимранова. // *Медицина труда и экология*. 2016. №3. С. 5-10 (на русском языке)
9. Березин И.И. Состояние почвы на территории городов с развитой нефтеперерабатывающей промышленностью. / И.И. Березин, В.В. Сучков. // *Гигиена и санитария*. 2015. №94 (5). С. 36-39 (на русском языке)

10. Мамырбаев А.А. Комплексная экологогигиеническая оценка качества объектов окружающей среды в регионе Жанажольского месторождения добычи нефти и газа. / Мамырбаев А.А., Макенова А.М., Сатыбалдиева У.А., Сабырахметова В.М., Нургазин Ж.Т. // *West Kazakhstan Medical Journal*. 2020. №62 (3). С. 152-160 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кристофер Э. Экпенонг. Бензин қосылыстарына және/немесе қоршаған ортаға ұшыраған жұмысшылардың денсаулығына қауіп-қатерді бағалаудағы соңғы жетістіктер. Кристофер Э. Экпенонг, Э. Асуко. // *Халықаралық Еңбек медицинасы және қоршаған ортаны қорғау журналы*. 2017. №30 (1). Б. 1-26 (ағылшын тілінде)
2. Женди Ванг. Мұнай төгілуінің экологиялық сараптамасы: саусақ ізі және көзді анықтау жылы. / Женди Ванг, Скотт А. Стаут, Пол М. Фингас. // *Elsevier Science*. 2016. Б. 381-403 (ағылшын тілінде)
3. Демелханов М.Д. Мұнай төгілуінің экологиялық салдары. / М.Д. Демелханов, З.П. Оказова, И.М. Чупанова. // *Қазіргі жаратылыстану ғылымдарының жетістіктері*. 2015. №12. Б. 91-94 (орыс тілінде)
4. Цзен-Тянь Ли, Хао-Тонг Ву, Ван-И Чен, Фу-Ан Хе, Де-Хао Ли. Мұнай мен суды тиімді бөлу үшін магнитті супергидрофобты меламина губкаларын алу. // *Бөлу және тазарту технологиясы*. 2019. Т. 212. Б. 40-50 (ағылшын тілінде)
5. Корнилов А.С. Свердлов облысының индустриалды дамыған қалаларының тұрғындарының денсаулығы үшін көп орталы тәуекелді басқару. / А.С. Корнилов, Л.И. Привалова, Е.А. Кузьмина, С.В. Ярушин және т.б. // *Гигиена және санитария*. 2015. №2. Б. 123-128 (орыс тілінде)
6. Бабаев Э.Р. Топырақтағы микробиологиялық деградация процесінде Апшерон түбегіндегі мұнайдың көмірсутек құрамының өзгеру ерекшеліктері. // *Мұнай-газ аумағы*. 2018. №6. Б. 104-112 (орыс тілінде)
7. Рахманова Г.Ф. Наносорбенттің мұнаймен ластанған топырақтың биоремедиация процесіне әсері. / Г.Ф. Рахманова, Н.Л. Шаронова, И.А. Дегтярева. // *Қазан технологиялық университетінің хабаршысы*. 2016. Т. 19. №5. Б. 149-152 (орыс тілінде)
8. Бакиров А.Б. Мұнай өндіру, мұнай өңдеу, мұнай-химия өнеркәсібіндегі ғылыми зерттеулердің басым бағыттары. / А.Б. Бакиров, Г.Г. Гимранова. // *Еңбек медицинасы және экология*. 2016. №3. Б. 5-10 (орыс тілінде)
9. Березин И.И. Мұнай өңдеу өнеркәсібі дамыған қалалар аумағындағы топырақтың жай-күйі. / Березин И.И., Сучков В.В. // *Гигиена және санитария*. 2015. №94 (5). Б. 36-39 (орыс тілінде)
10. Мамырбаев А.А. Жаңажол мұнай және газ өндіру кен орны аймағында қоршаған орта нысандарының сапасын кешенді экологиялық-гигиеналық бағалау. / А.А. Мамырбаев, А.М. Макенова, У.А. Сатыбалдиева, В.М. Сабырахметова, Ж.Т. Нургазин. // *West Kazakhstan Medical Journal*. 2020. №62 (3). Б. 152-160 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Christopher E. Ekpenyong. Recent advances in occupational and /environmental health hazards of workers exposed to gasoline compounds. / Christopher E. Ekpenyong, Asuquo E. // *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. 2017. №30 (1). P. 1-26 (in English)
2. Zhendi Wang. Oil Spill Environmental Forensics: Fingerprinting and Source Identification. / Zhendi Wang, Scott A. Stout, Paul M. Fingas. // *Elsevier Science*. 2016. P. 381-403 (in English)
3. Demel'khanov M.D. Ekologicheskie posledstviya razlivov nefiti. / M.D. Demel'khanov, Z.P. Okazova, I.M. Chupanova. // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2015. №12. S. 91-94 [Demelkhanov M.D. Environmental consequences of oil spills. / Demelkhanov M.D., Okazova Z.P., Chupanova I.M. // *Successes of modern natural science*. 2015. №12. P. 91-94] (in Russian)
4. Zeng-Tian Li, Hao-Tong Wu, Wan-Yi Chen, Fu-An He, De-Hao Li. Preparation of magnetic superhydrophobic melamine sponges for effective oil-water separation. // *Separation and Purification Technology*. 2019. Vol. 212. P. 40-50 (in English)
5. Kornilov A.S. Upravlenie mnogosredovym riskom dlya zdorov'ya naseleniya promyshlennno razvitykh gorodov Sverdlovskoi oblasti. / A.S. Kornilov, L.I. Privalova, E.A. Kuz'mina, S.V. Yarushin i dr. // *Gigiena i sanitariya*. 2015. №2. S. 123-128 [Kornilov A.S. Management of a multi-media risk to the health of the population of industrially developed cities of the Sverdlovsk region. / Kornilov A.S., Privalolva L.I., Kuzmina E.A., Yarushin S.V. and others. // *Hygiene and sanitation*. 2015. №2. P. 123-128] (in Russian)
6. Babaev E.R. Osobennosti preobrazovaniya uglevodorodnogo sostava neftei Apsheronского полуострова v protsesse ikh mikrobiologicheskoi degradatsii v pochve. // *Territoriya Neftegaz*. 2018. №6. S. 104-112 [Babaev E.R. Peculiarities of the transformation of the hydrocarbon composition of the oils of the

- Absheron Peninsula in the process of their microbiological degradation in the soil. // The territory of Neftegaz. 2018. №6. P. 104-112] (in Russian)*
7. *Rakhmanova G.F. Vliyanie nanosorbenta na protsessy bioremediatsii neftezagryaznennoi pochvy. / G.F. Rakhmanova, N.L. Sharonova, I.A. Degtyareva. // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19. №5. S. 149-152 [Rakhmanova G.F. The effect of nanosorbent on the processes of bioremediation of oil-contaminated soil. / Rakhmanova G.F., Sharonova N.L., Degtyareva I.A. // Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. Vol. 19. №5. P. 149-152] (in Russian)*
  8. *Bakirov A.B. Prioritetnye napravleniya nauchnykh issledovaniy v nefteobryadovoy promyshlennosti. / A.B. Bakirov, G.G. Gimranova. // Meditsina truda i ekologiya. 2016. №3. S. 5-10 [Bakirov A.B. Priority directions of scientific research in the oil production, oil refining, petrochemical industry. / Bakirov A.B., Gimranova G.G. // Occupational medicine and ecology. 2016. №3. P. 5-10] (in Russian)*
  9. *Berezin I.I. Sostoyaniye pochvy na territorii gorodov s razvitoi neftepererabatyvayushchei promyshlennost'yu. / I.I. Berezin, V.V. Suchkov. // Gigiena i sanitariya. 2015. №94 (5). S. 36-39 [Berezin I.I. The state of the soil in the territory of cities with a developed oil refining industry. / Berezin I.I., Suchkov V.V. // Hygiene and sanitation. 2015. №94 (5). P. 36-39] (in Russian)*
  10. *Mamyrbayev A.A. Kompleksnaya ekologigigienicheskaya otsenka kachestva ob'ektov okruzhayushchei sredy v regione Zhanazhol'skogo mestorozhdeniya dobychi nefi i gaza. / Mamyrbayev A.A., Makenova A.M., Satybaldieva U.A., Sabyrakhmetova V.M., Nurgazin Zh.T. // West Kazakhstan Medical Journal. 2020. №62 (3). S. 152-160 [Mamyrbayev A.A. Integrated ecological and hygienic assessment of quality of environmental objects in the region of Zhanazhol oil and gas mining field. / Mamyrbayev A.A., Makenova A.M., Satybaldieva U.A., Sabyrakhmetova V.M., Nurgazin Zh.T. // West Kazakhstan Medical Journal. 2020. №62 (3). P.152-160] (in Russian)*

#### Сведения об авторах:

**Исенгалиева Г.А.**, кандидат технических наук, доцент, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), [isengul@mail.ru](mailto:isengul@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8742-6378>

**Гатаулина Г.А.**, магистр естественных наук, старший преподаватель, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), [ggataulina@zhubanov.edu.kz](mailto:ggataulina@zhubanov.edu.kz); <https://orcid.org/0009-0000-2181-8272>

**Алмат С.К.**, магистр естественных наук, преподаватель АРУ им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), [Smlalmat@gmail.com](mailto:Smlalmat@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0007-3770-1846>

**Тогизбаева А.А.**, магистр естественных наук, преподаватель АРУ им. К. Жубанова (г. Актобе, Казахстан), [togizbaevaainur6@gmail.com](mailto:togizbaevaainur6@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0006-1116-6083>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Исенгалиева Г. А.**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті (Ақтөбе қ., Қазақстан)

**Гатаулина Г. А.**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ақтөбе өңірлік университетінің аға оқытушысы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

**Алмат С. К.**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің оқытушысы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

**Тогизбаева А. А.**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің оқытушысы (Ақтөбе қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Issengaliyeva G.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

**Gataullina G.A.**, Master of Natural Sciences, Senior lecturer Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

**Almat S.K.**, Master of Natural Sciences, teacher Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)

**Togizbayeva A.A.**, Master of Natural Sciences, teacher Aktobe Regional University named after K. Zhubanov (Aktobe, Kazakhstan)



Код МРНТИ 52.13.25:52.01.94

\*Б. Хусан<sup>1</sup>, Д.А. Бейшенкулова<sup>1</sup>, Е.А. Цешковская<sup>2</sup>, Н.К. Цой<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова (г. Бишкек, Кыргызстан),

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

## АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АГУЛАК НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Аннотация.** В статье приведены актуальные проблемы, касающиеся решения задач охраны окружающей среды, улучшение экологической ситуации угольного месторождения Агулак, на котором осуществляется добыча угля открытым способом. Основными технологическими процессами в карьере являются буровзрывные, погрузочно-разгрузочные работы, экскавация, транспортировка горной массы и движение автотранспорта, которые являются источниками интенсивного пылеобразования и выделения токсичных газов. Удаление растительного покрова, проведение мероприятий, связанных со строительством дорог, перевозкой, хранением верхнего слоя почвы приводят к увеличению большого количества пыли вокруг горных работ. Работы по снижению пыления от карьера являются актуальными для мест ведения горных работ. В данной работе предлагается химический метод пылеподавления – применение ПВЭ «Эквипол (ТМ)».

**Ключевые слова:** окружающая среда, разрез, пыль, уголь, выхлопные газы, транспорт, загрязнения атмосферного воздуха.

### Агулак көмір кен орнының қоршаған орта жағдайына әсерін талдау

**Аңдатпа.** Мақалада қоршаған ортаны қорғау міндеттерін шешуге, ашық тәсілмен көмір өндіру жүзеге асырылатын Агулак көмір кен орнының экологиялық жағдайын жақсартуға қатысты өзекті мәселелер келтірілген. Карьердегі негізгі технологиялық процестер бұрғылау-жару, тиеу-түсіру жұмыстары, экскавация, тау-кен массасын тасымалдау және көлік қозғалысы болып табылады, олар қарқынды шаң мен улы газдардың бөліну көздері болып табылады. Өсімдік жамылғысын алып тастау, жол салуға, тасымалдауға, топырақтың жоғарғы қабатын сақтауға байланысты іс-шаралар жүргізу тау-кен жұмыстарының айналасында шаңның көп болуына әкеледі. Карьерден шаңды азайту жөніндегі жұмыстар тау-кен жұмыстарын жүргізу орындары үшін өзекті болып табылады. Бұл жұмыстарды басудың химиялық әдісі ұсынылады: «Эквипол (ТМ)» ПВЭ қолдану.

**Түйінді сөздер:** қоршаған орта, кесу, шаң, көмір, пайдаланылған газдар, көлік, атмосфералық ауаның ластануы.

### Analysis of the impact of the Agulak coal deposit on the environment

**Abstract.** The article presents current problems related to solving problems of environmental protection, improving the environmental situation of the Agulak coal deposit, where open-pit coal mining is carried out. The main technological processes in the quarry are drilling and blasting, loading and unloading operations, excavation, transportation of rock mass and vehicle traffic, which are sources of intense dust formation and the release of toxic gases. Removal of vegetation cover, activities related to road construction, transportation, and storage of topsoil lead to an increase in large amounts of dust around mining operations. Work to reduce dust from the quarry is relevant for mining sites. This work proposes a chemical method of dust suppression: the use of Equipol (TM) RWE.

**Key words:** cut, dust, ejector, coal, exhaust gases, environment, transport, ecology.

### Введение

Всем известно, что угольная промышленность ведет к ряду неблагоприятных последствий для окружающей среды. При добыче открытым способом образуются глубокие воронки и нарушается устройство пластов горных пород, сносится огромный слой почвы, уничтожаются существующие виды растительности, разрушается генетический профиль почвы, вытесняются или уничтожаются дикие животные и среды их обитания, ухудшается качество воздуха, изменяется текущий процесс землепользования, а также, в некоторой степени, постоянно изменяется общий профиль земной поверхности.

Также при добыче полезных ископаемых открытым способом возможно ухудшение состояния грунтовых вод за счет отвода полезной воды из неглубоких водоносных горизонтов; понижения уровня воды на прилегающих территориях и изменения направления стока в водоносных горизонтах; загрязнения полезных водоносных горизонтов под горными работами из-за просачивания некачественной карьерной воды; повышенного просачивания осадков на отвалы<sup>1</sup>. Там, где присутствует уголь, повышенная инфильтрация может привести к увеличению стока некачественной воды и эрозии отвалов, пополнению некачественной водой неглубоких подземных водоносных горизонтов и поступлению некачественной воды в близлежащие ручьи<sup>2</sup>.

Горная промышленность не только влияет отрицательно на все элементы биосферы, а также негативно воздействует на здоровье человека.

Поэтому при угледобыче должны выполняться горно-рудные требования и нормативы по технике безопасности, при их несоблюдении возможны очень опасные и серьезные последствия.

Решением данной проблемы может послужить ряд законов и нормативов, включающих в себя все этапы разработки угольных месторождений, предусматривающие осуществление непрерывного контроля в ходе горных работ, исключающие возможность возникновения негативных экологических последствий [1].

Проблема загрязнения окружающей среды в настоящее время достаточно актуальна.

В Кыргызстане насчитывается порядка 70 основных угольных месторождений, запасы которых по прогнозным оценкам составляют более 2,2 млрд т [2].

Одним из угольных месторождений в Кыргызстане является месторождение Агулак, на котором осуществляется добыча угля открытым способом.

### Общие сведения о месторождении Агулак

Мин-Кушкая группа бурогоугольных месторождений представляет собой единую геологическую структуру – Кавакскую межгорную впадину, протягивающуюся в широтные направления вдоль северных предгорий хребта Молдотау и занимает центральную часть Кавакского бурогоугольного бассейна [3, 4]. По геологическим и географическим условиям бассейн разделен на ряд месторождений (Кок – Мойнок, Минкуш, Кашка – Суу, Тура – Кавок, Агулак, Кара-Киче, и др.) (рис. 1.).

<sup>1</sup>Промышленность Кыргызстана. URL: <https://rus.gateway.kg/industry/promyshlennost-kyrgyzstana/sectors/mining/coal-mining/> (дата обращения: 05.11.2024).

<sup>2</sup>Smart Fog Dust Suppression Systems // Smart Fog #1 Manufacturer of Intelligent Non-Wetting Industrial Humidifier. – Per. materiala firmy Smart Fog. URL: <http://www.smartfog.com/dust-suppression-systems.html> (дата обращения: 05.10.2024).



**Рис. 1. Общий вид карьера Агулак.  
Сурет 1. Агулак карьерінің жалпы көрінісі.  
Figure 1. General view of the Agulak quarry.**



**Рис. 2. Уголь карьера Агулак.  
Сурет 2. Көмір карьері Агулак.  
Figure 2. Coal of the Agulak quarry.**

В административном отношении площадь месторождения относится к Джумгалскому району (центр с. Чаек) Нарынской области Кыргызской республики. Расположены они в 235 км к юго-западу от железнодорожной станции и пристани г. Балыкчи и в 220 км к юго-востоку от железнодорожной станции Карабалты. С обеими станциями месторождение связано гравийными и асфальтированными дорогами республиканского значения.

Основное направление использования углей месторождения определяются их качеством, как хорошего энергетического топлива. Угли бурые марки Б-3 средне и малозольные, малосернистые, высококалорийные. Выход крупных классов может составлять 6%. Мелкие классы углей используются для сжигания на ТЭЦ (рис. 2).

В настоящее время Джумгалская долина (центр с. Чаек) снабжается углем разреза Агулак и Каракече.

Абсолютные отметки поверхности месторождения Мин-Куш колеблются от 1700 до 2800 м. Относительные превышения составляет 450-650 м.

В прямоугольной системе координат буроугольное месторождение Мин-Куш имеет следующие угловые точки, приведенные в таблице 1.

Номенклатура масштаба 1:100000, К-43-77,78.

Площадь участка:  $S_{общая} = 251,3$  га, в том числе  $S_{1550СЕ} = 26,52$  га и  $S_{вост.ч2159СЕ} = 4,27$  га.

Площадь конкурсного участка составит  $S_{конкурс.уч} = 251,3 - 26,52 - 4,27 = 220,5$  га.

Из конкурсного объекта исключаются лицензионные площади двух недропользователей с нижеследующими координатами угловых точек:

- 1) ЗАО «Центр Азия Уголь» (табл. 2);
- 2) ЗАО «Берекет» (табл. 3).

Основной водной артерией в районе расположения анализируемого месторождения является река Мин-Куш со среднегодовым расходом воды 2,13 м<sup>3</sup>/сек при минимуме 0,7 м<sup>3</sup>/сек и максимуме 8,6 м<sup>3</sup>/сек.

Климат в районе месторождения резко континентальный, высокогорный.

Потребителями угля Мин-Кушского месторождения являются жители, организации, предприятия, школы, медицинские учреждения Нарынской области, частично – Иссык-Кульской области. Расстояние от разреза Агулак до районных центров потребления угля Нарынской области составляет: до села Чаек – 59 км, села Кочкорка – 179 км, города Нарын через село Кочкорка – 304 км, села Баатово – 424 км, села Ат-Башы – 350 км.

Таблица 1

*Угловые точки бурогоугольного месторождения Мин-Куш*  
*Мин-Куш қоңыр көмір кен орнының бұрыштық нүктелері*  
*Corner points of the Min-Kush brown coal deposit*

Кесте 1

Table 1

№ точек	X	Y	№ точек	X	Y
1	13458522	4618609	7	13460895	4617606
2	13460232	4618493	8	13460285	4617667
3	13460784	4618499	9	13460018	4617535
4	13461609	4618257	10	13459559	4617796
5	13461684	4618012	11	13458513	4617698
6	13461441	4617682			

S = 2,513 км<sup>2</sup>

Таблица 2

*Координаты угловых точек ЗАО «Центр Азия Уголь»*  
*«Орталық Азия көмір» АҚ карьерінің бұрыштық нүктелерінің координаттары*  
*Coordinates of the corner points of CJSC Center Asia Coal*

Кесте 2

Table 2

Точки №	X	Y	Точки №	X	Y
1	13458875	4618400	3	13459500	4617850
2	13459560	4618225	4	13458875	4617925

S = 0,2652 км<sup>2</sup>

Таблица 3

*Координаты угловых точек ЗАО «Берекет»*  
*«Берекет» АҚ карьерінің бұрыштық нүктелерінің координаттары*  
*Coordinates of the corner points of Bereket CJSC*

Кесте 3

Table 3

Точки №	X	Y	Точки №	X	Y
1	13458696	4618240	3	13458464	4617896
2	13458700	4618040	4	13458520	4618200

S = 0,0427 км<sup>2</sup>

Расстояние от разреза Агулак до железнодорожных станций Балыкчы составляет 239 км, Кара-Балта – 220 км.

В 1952-1978 годы на месторождении Мин-Куш проведены все стадии геологоразведочных работ. Исследованы технологические и физико-механические свойства угля, составлены геологические карты масштабов 1:10000, 1:5000 и 1:1000.

Запасы участка Агулак месторождения Мин-Куш утверждались ГКЗ СССР в 1978 году (Протокол №8013 от 3 февраля 1978 года) в объеме В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> – 69,077 млн т.

На конкурс выставляется вся площадь участка Агулак с геологическими запасами в объеме 66,653 млн т, за исключением лицензионной площади по Лицензии «1550 СЕ» с запасами угля в объеме 10,534 млн т и восточной части

лицензионной площади по Лицензии «2159 СЕ» с запасами угля в объеме 0,112 млн т.

**Отходы.** В процессе добычных работ образуются технологические отходы: некондиционное полезное ископаемое, размещаемое в отвалах горных пород.

В ходе деятельности на территории карьера образуются производственные и хозяйственно-бытовые отходы.

Отработанные смазочные материалы хранятся в металлических емкостях. Обтирочный материал после использования складировается в специальных металлических емкостях с последующим вывозом для уничтожения в места, согласованные с территориальным управлением охраны окружающей среды.

Септик, выгребные ямы и туалеты располагаются не ближе 50 м от административных и бытовых помещений,

в местах, исключая размыв их атмосферными осадками и попадания в естественные водотоки.

Одновременно на участке будет находиться одна смена работников, занятых непосредственно на горных работах и весь персонал, занятый руководством и обслуживанием предприятия.

Для сбора хозяйственно-бытовых отходов организована выгребная яма, дно и стенки которой сооружены из водонепроницаемого материала. Вывоз твердо-бытовых отходов осуществляется по мере накопления, согласно разовым договорам.

**Водоснабжение.** Предприятия снабжаются водой из ручья Минкуш. Вода потребляется для хозяйственно-бытовых и производственных нужд. Техническая вода расходуется объектами служб разреза для пылеподавления, пожаротушения, гидрозабойки скважин, а также для заливки в системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

Для уменьшения запыленности атмосферы разреза, при взрывных работах применяется внешняя (с удельным расходом воды  $1,4 \text{ кг/м}^3$  взорванной массы) гидрозабойка скважины.

Техническая вода доставляется в емкости поливочной машиной ПМ-130. Водозабор будет осуществляться из местных поверхностных источников, ручья. Также дождевые и грунтовые воды откачиваются в отстойник емкостью  $1200 \text{ м}^3$  и после отстаивания используются для пылеподавления в разрезе на автодорогах.

Для подавления пыли на внутрикарьерных подъездных автодорогах и на карьере, при производстве вскрышных, добычных и транспортных работ, предусматривается поливка автодорог, призабойного пространства и мест образования пыли поливочной машиной ПМ-130 и оросительно-вентиляционными установками УПМ-1А.

Орошению подлежат:

- автодорога протяженностью  $0,5 \text{ км}$ , шириной  $4 \text{ м}$ , орошаемая площадь –  $2,0 \text{ тыс. м}^2$ ;
- рабочая площадка размером  $30 \times 20 \text{ м}$ , орошаемая площадь –  $0,6 \text{ тыс. м}^2$ ;
- отвал на площади  $30 \times 20 \text{ м}$ , орошаемая площадь –  $58,0 \text{ тыс. м}^2$ .

Всего орошаемая площадь составит  $2,0 + 0,6 + 58,0 = 60,6 \text{ тыс. м}^2$ .

Орошение производится один раз в смену, за исключением дождливых дней. Пылеподавление проектом предусматривается путем систематического полива водой призабойной части карьера, рабочей площадки, технологической автодороги и поверхности отвалов при помощи поливочной машины ПМ-130.

Расход воды рассчитан исходя из норм водопотребления на производственные и хозяйственно-бытовые нужды.

При расчетах потребности воды учитывается сезонность отдельных процессов и специфические климатические условия участка высокогорья, продолжительность безморозного периода.

Количество дней полива дорог составит  $N=180$  дней.

На территории карьера обустроена столовая и баня для рабочих. Количество дней работы столовой и бани составляет 200 дней.

Орошение пылящих поверхностей производится один раз в смену, за исключением дождливых дней.

**Канализация.** В связи с отсутствием хозяйственно-бытовых сооружений на разрезе участке бурогоугольного месторождения Мин-Куш не предусматриваются объекты переработки сточных вод и канализации. На всех объектах установлены надворные туалеты, оборудованные водонепроницаемыми выгребными ямами.

Для сброса хозяйственно-бытовых сточных вод от столовой и бани на территории карьера обустроен забетонированный выгреб объемом  $2,5 \text{ м}^3$ .

Вывоз отходов и сточных вод из выгребных ям предусматривается ассенизаторской машиной на ближайшие очистные сооружения, согласно разовым договорам. Однако, для минимизации воздействия хозяйственно-бытовых стоков на окружающую среду и снижения влияния на почвенный покров при рытье септика рекомендовано применение биотуалетов.

**Водоотлив и водоотведение.** Техническая и питьевая вода расходуется на производственные и питьевые нужды трудящихся.

Производственная вода на карьере используется для заливки в системы охлаждения машин и оборудования, для орошения автодороги и забоев.

Техническая вода будет доставляться из р. Минкуш.

Доставка питьевой воды будет осуществляться из поселка Минкуш, находящегося в непосредственной близости от места работ.

Доставка технической воды производится поливочной машиной, питьевой воды – в термосах. Доставка и хранение питьевой воды согласовывается с местной СЭС.

Расход воды рассчитан исходя из норм водопотребления на производственные и хозяйственно-бытовые нужды.

Расчеты в экологическом паспорте по углю сделаны на производственную мощность  $50 \text{ тыс. тонн}$  в год.

#### **Воздушный бассейн**

В настоящее время разрезы наносят серьезный ущерб атмосферному воздуху во время добычи и транспортировки угля. В воздушный бассейн поступает большое количество твердой фракции (пыль неорганическая). Также большой ущерб состоянию атмосферного воздуха наносят буровзрывные работы [5], погрузочно-разгрузочные работы, дымящиеся породные отвалы и открытые угольные склады. Разрез является источником равномерно распространяемых по площади выбросов от автотранспортных и погрузочно-разгрузочных работ.

Загрязняющие вещества оказывают отрицательное воздействие практически на все компоненты окружающей среды. Воздействие на почву и воду заключается в загрязнении пылью, аэрозолями, ГСМ, отходами производства.

Для подавления пыли на участке Южный, на внутрикарьерных подъездных автодорогах и на карьере, при производстве вскрышных, добычных и транспортных работ, предусматривается поливка автодорог, призабойного пространства, и места образования пыли поливочной машиной ПМ-130.

Еще один неблагоприятный фактор: большое количество машин постоянно перевозит пустую породу, загрязняя

пылью все новые территории, попутно производя массу выхлопных газов.

Выбросы пыли в атмосферу зачастую имеют глобальный характер с необратимым влиянием на биосферу.

Осаждение частиц угольной пыли на различные поверхности имеет крайне негативные последствия. В местах отложения и/или высокой концентрации угольной пыли значительно сокращается цикл жизнедеятельности растений и животных, люди чаще страдают от заболеваний дыхательной системы, а также накопление угольной пыли является пожароопасным фактором.

С точки зрения экономического фактора, подвижные части машин и механизмов, на которые воздействуют частицы угольной пыли, имеют повышенный механический (абразивный) износ и увеличенную интенсивность коррозионных процессов.

Угольная пыль также создает множество проблем в системах управления и цепях питания техники, в том числе в связи с повышенной взрывоопасностью пылевой угольной взвеси, особенно в закрытых (замкнутых) пространствах с высокой температурой и недостаточной вентиляцией.

Наши анализы показывают, что добыча угля открытым способом не всегда негативно воздействует на элементы биосферы. В нашем случае на месторождение Агулак самым загрязняющим элементом является пыль (рис. 3).

Существуют различные способы и методы пылеподавления при ведении технологических процессов на карьерах [6-8]<sup>3-4</sup>. Чтобы уменьшить пылеобразование на открытых горных работах и избавиться от пыления без ущерба для окружающей среды, предлагается химический способ пылеподавления путем нанесения водного раствора полимерно-восковой эмульсии «Эквипол (ТМ)» на поверхность дорожных покрытий.

Эквипол разработан компанией ВИСТЕКС в 2014 году на основе собственных технологий производства полимерно-восковых эмульсий.

ПВЭ «Эквипол (ТМ)» обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными препаратами, используемы-

ми для пылеподавления на неорганизованных источниках пылеобразования:

- данный препарат является экологически чистым и не представляет опасности для окружающей среды в целом, а также для здоровья людей и животных. В его составе отсутствуют вредные и токсичные компоненты, что является гарантией его экологической безопасности. Применение рекомендуемого препарата не будет оказывать негативного воздействия на экосистемы района расположения анализируемого месторождения;

- в химическом составе отсутствуют растворители, является пожаробезопасным;

- характеризуется устойчивостью агрессивностям окружающей среды (большие температурные скачки, высокая влажность, изменения ультрафиолетового излучения) и химических веществ, а также к механическим повреждениям со стороны транспорта и техники;

- применяется в широком температурном диапазоне от -45°C до +65°C;

- после обработки действие начинается в течение 2-х часов и обеспечивается 100% результат в борьбе с ветровой и дождевой эрозией почвы;

- эффективность материала сохраняется до 15 лет;

- эффект усиливается при повторном применении;

- подходит для использования на всех типах грунтов.

В ходе производственных испытаний и последующего применения на сыпучих материалах и различного вида грунтах полимерно-восковая эмульсия «Эквипол (ТМ)» справилась с задачей по снижению пыления поверхностей, коэффициент эффективности пылеподавления составил порядка 90-95% (рис. 4).

Описание укрупненной оценки влияния на атмосферный воздух при добыче угля приведено в табл. 4.

По результатам укрупненной оценки влияние на атмосферный воздух будет высокой значимости. Однако внедрение такого природоохранного мероприятия как применение пылеподавляющего реагента поможет снизить время, интенсивность и площадь пыления.



**Рис. 3. Угольная пыль.  
Сурет 3. Көмір шаңы.  
Figure 3. Coal dust.**

<sup>3</sup>Smart Fog Dust Suppression Systems // Smart Fog #1 Manufacturer of Intelligent Non-Wetting Industrial Humidifier. – Per. materiala firmy Smart Fog. URL: <http://www.smartfog.com/dust-suppression-systems.html> (дата обращения 19.09.2024).

<sup>4</sup>Dust Tamer Wind Fence and Wind Screen Systems // Dust Solutions Inc. – Per. materiala firmy Dust Solution. URL: <http://www.nodust.com> (дата обращения 19.09.2024).



**Рис. 4. Вид грунтовой дороги, обработанной ПВЭ «Эквипол (ТМ)».**

**Сурет 4. «Эквипол (ТМ)» өңделген қара жолдың түрі.**

**Figure 4. View of a dirt road treated with «Equipol (TM)».**

*Таблица 4*

*Укрупненная оценка влияния угольного разреза на атмосферный воздух*

*Кесте 4*

*Көмір кесіндісінің атмосфералық ауаға әсерін жоғары бағалау*

*Table 4*

*An enlarged assessment of the impact of a coal mine on atmospheric air*

Компоненты природной среды	Источник и вид воздействия	Пространственный масштаб	Временной масштаб	Интенсивность воздействия	Комплексная оценка	Категория значимости
Атмосферный воздух	Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников	3 местное воздействие	4 многолетнее воздействие	4 сильное	48	Воздействие высокой значимости

### **Выводы**

Предлагаемый нами метод пылеподавления внесением водного раствора полимерно-восковой эмульсии «Эквипол (ТМ)» значительно сокращает пыление после обработки до 90-95%; втягивает вновь привнесенную пыль внутрь обработанного ранее поверхностного слоя; сокращаются затраты на ремонт и запчасти техники, а также на работы по поливу дорожного полотна, и, следовательно, расходов на ГСМ, амортизацию, расхода воды.

Процесс пылеобразования может иметь как естественное происхождение, так и техногенное. Это может выражаться в атмосферных явлениях, деятельности человека и осо-

бенностей взаимодействия различных элементов земной поверхности. Поэтому пылеобразование является постоянным процессом, который сохранится в будущем в силу различных природных явлений и неизбежного техногенного воздействия. В связи с этим необходимо принимать меры по пылеподавлению. Все применяемые методы имеют высокую эффективность. Наиболее перспективным и актуальным решением проблемы снижения пылевой нагрузки на окружающую среду при добыче и переработке минерального сырья является совершенствование способов закрепления пылящих поверхностей техногенных массивов, т.к. они являются основными источниками загрязнения.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Закон Кыргызской Республики «Об охране окружающей среды» от 16.06.1999 г. №53. Принят Законодательным собранием Жогорку Кенеша Кыргызской Республики 13 мая 1999 года (по состоянию на 23.04.2024 г.) (на кыргызском языке)
2. Закон Кыргызской Республики «О недрах» от 19.05.2018 г. №49. Принят Жогорку Кенешем Кыргызской Республики 12 апреля 2018 года (по состоянию на 27.06.2024 г.) (на кыргызском языке)

3. Закон Кыргызской Республики «Об экологической экспертизе» от 16.06.1999 г. №54. Принят Законодательным собранием Жогорку Кенеша Кыргызской Республики 13 мая 1999 года (по состоянию на 05.11.2024 г.) (на кыргызском языке)
4. Омошев Н.Д. О георисках водного генезиса на месторождении Кара-Кече Кавакского угольного бассейна Кыргызстана. / Н.Д. Омошев, П.Б. Туркбаев, Р.Р. Бекбосунов. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. №4. С. 149-152 (на кыргызском языке)
5. Камчыбеков Д.К. Кавакский угольный бассейн: состояние и перспективы развития. // Уголь. 2013. №11. С. 44-47 (на русском языке)
6. Заиров Ш.Ш., Худойназаров Ш.З. Повышение эффективности пылеподавления при массовых взрывах на карьерах. / Ш.Ш. Заиров, Ш.З. Худойназаров. // Экономика и социум. 2021. Ч.1. №3 (82). С. 556-559 (на русском языке)
7. Чемезов Е.Н. Борьба с пылью на открытых горных работах. / Е.Н. Чемезов, Е.Г. Делец. // Вестник, научно-технический журнал. 2017. №1. С. 42-46 (на русском языке)
8. Шаров Н.А. Методы пылеподавления на угольных разрезах Крайнего Севера. / Н.А. Шаров, Р.Р. Дудаев, Д.И. Крищук, М.Ю. Лискова. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2019. №2. Т. 19. С. 184-200 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кыргыз Республикасының «Қоршаған ортаны қорғау туралы» 1999 жылғы 16 маусымдағы №53 Заңы. 1999 жылы 13 мамырда Кыргыз Республикасы Жогорку Кенешінің Заң шығару жиналысы қабылдаған (23.04.2024 ж. жағдай бойынша) (қыргыз тілінде)
2. «Жер қойнауы туралы» Кыргыз Республикасының Заңы 2018 жылғы 19 мамырдағы №49. 2018 жылғы 12 сәуірде Кыргыз Республикасының Жогорку Кенешімен қабылданған (27.06.2024 ж. жағдай бойынша) (қыргыз тілінде)
3. «Экологиялық сараптама туралы» Кыргыз Республикасының Заңы 1999 жылғы 16 маусымдағы №54. 1999 жылы 13 мамырда Кыргыз Республикасы Жогорку Кенешінің Заң шығару жиналысы қабылдаған (05.11.2024 ж. жағдай бойынша) (қыргыз тілінде)
4. Омошев Н.Д. Кыргызстанның Кавак көмір бассейнінің қара-кеше кен орнындағы су генезисінің георискілері туралы. / Н.Д. Омошев, П.Б. Туркбаев, Р.Р. Бекбосунов. // Ғылым, Кыргызстанның жаңа технологиялары мен инновациялары. 2019. №4. Б. 149-152 (қыргыз тілінде)
5. Қамшыбеков Д.К. Кавак көмір бассейні: жағдайы және даму перспективалары. // Көмір. 2013. №11. Б. 44-47 (орыс тілінде)
6. Заиров Ш.Ш. Карьерлердегі жаппай жарылыстар кезінде шаңды басу тиімділігін арттыру. / Ш.Ш. Заиров, Ш.З. Худойназаров. // Экономика және қоғам. 2021. №3 (82). Б. 1. Б. 556-559 (орыс тілінде)
7. Чемезов Е.Н. Ашық тау-кен жұмыстарындағы шаңмен күрес. / Е.Н. Чемезов, Е.Г. Делец. // Ғылыми-техникалық журнал Хабаршы. 2017. №1. Б. 42-46 (орыс тілінде)
8. Шаров Н.А. Қиыр солтүстіктің көмір кесінділеріндегі шаңды басу әдістері. / Н.А. Шаров, Р.Р. Дудаев, Д.И. Крищук, М.Ю. Лискова. // Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университетінің хабаршысы. Геология. Мұнай-газ және тау-кен ісі. 2019. №2. Т. 19. Б. 184-200 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Law of the Kyrgyz Republic «On Environmental Protection» dated June 16, 1999 №53. Adopted by the Legislative Assembly of the Jogorku Kenesh of the Kyrgyz Republic on May 13, 1999 (as of April 23, 2024) (in Kyrgyz)
2. Law of the Kyrgyz Republic «On Subsoil» dated May 19, 2018 №49. Adopted by the Jogorku Kenesh of the Kyrgyz Republic on April 12, 2018 (as of June 27, 2024) (in Kyrgyz)
3. Law of the Kyrgyz Republic «On Environmental Expertise» dated June 16, 1999 №54. Adopted by the Legislative Assembly of the Jogorku Kenesh of the Kyrgyz Republic on May 13, 1999 (as of November 5, 2024) (in Kyrgyz)
4. Omoshev N.D. On the georisks of water genesis at the Kara-Keche deposit of the Kavak coal basin of Kyrgyzstan. / Omoshev N.D., Turkbaev P.B., Bekbosunov R.R. // Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan. 2019. №4. P. 149-152 (in Kyrgyz)

5. Kamchybekov D.K. Kavakskii ugol'nyi bassein: sostoyanie i perspektivy razvitiya. // Ugol'. 2013. №11. S. 44-47 [Kamchybekov D.K. Kavak coal basin: state and prospects development. // Coal. 2013. №11. P. 44-47] (in Russian)
6. Zairov Sh.Sh., Khudoinazarov Sh.Z. Povyshenie effektivnosti pylepodavleniya pri massovykh vzryvakh na kar'erakh. / Sh.Sh. Zairov, Sh.Z. Khudoinazarov. // Ekonomika i sotsium. 2021. Ch.1. №3 (82). S. 556-559 [Zairov Sh.Sh. Increasing the efficiency of dust suppression in mass explosions at quarries. / Zairov Sh.Sh., Khudoinazarov Sh.Z. // Economics and Society. 2021. Part 1. №3 (82). P. 556-559] (in Russian)
7. Chemezov E.N. Bor'ba s pyl'yu na otkrytykh gornykh rabotakh. / E.N. Chemezov, E.G. Delets. // Vestnik, nauchno-tehnicheskii zhurnal. 2017. №1. S. 42-46 [Chemezov E.N. Dust control in open-pit mining. / Chemezov E.N., Delets E.G. // Scientific and Technical Journal Vestnik. 2017. №1. P. 42-46] (in Russian)
8. Sharov N.A. Metody pylepodavleniya na ugol'nykh razrezakh Krainego Severa. / N.A. Sharov, R.R. Dudaev, D.I. Krishchuk, M.Yu. Liskova. // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo univesiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. 2019. №2. T. 19. S. 184-200 [Sharov N.A. Methods of dust suppression in coal mines of the Far North. / Sharov N.A., Dudaev R.R., Krischuk D.I., Liskova M.Yu. // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and Gas and Mining. 2019. Vol. 19. №2. P. 184-200] (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Болатхан Х.**, магистр кафедры «ПБиГ», гр. ТБ<sub>м(з)</sub>-1-23, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова (г. Бишкек, Кыргызстан), [hbolat@mail.ru](mailto:hbolat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0996-348X>

**Бейшенкулова Д.А.**, доцент, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова (г. Бишкек, Кыргызстан), [badinara999@gmail.com](mailto:badinara999@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-4865-6266> Бишкек, Кыргызстан.

**Цешковская Е.А.**, к.г.н., старший преподаватель кафедры «Рудничная аэрология и охрана труда», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [elena\\_tesh@mail.ru](mailto:elena_tesh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0330-3325>

**Цой Н.К.**, к.т.н., и.о. доцента кафедры «Рудничная аэрология и охрана труда», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [zoinat@mail.ru](mailto:zoinat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5682-930X>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Хусан Б.**, «ПБиГ» кафедрасының магистрі, гр. ТБ<sub>м(з)</sub>-1-23, Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті И. Раззаков атындағы (Бішкек қ., Қырғызстан)

**Бейшенкулова Д.А.**, т.ғ.к., «ПБиГ» кафедрасының доценті, Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті И. Раззаков атындағы (Бішкек қ., Қырғызстан)

**Цешковская Е.А.**, т.ғ.к., «Кеніштік аэрология және еңбекті қорғау» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Цой Н.К.** т.ғ.к., «Кеніштік аэрология және еңбекті қорғау» кафедрасының доценттің міндетін атқарушы, Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Hussan B.**, Master of the department of «PBiG», gr. TB<sub>m(z)</sub>-1-23. Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (Bishkek, Kyrgyzstan)

**Beishenkulova D.A.**, associate professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (Bishkek, Kyrgyzstan)

**Tseshkovskaya Ye.A.**, k.g.s., Senior lecturer of the Department of Mine Aerology and Occupational Safety, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

**Tsoy N.K.**, k.t.s., Acting Associate Professor of the Department of Mine Aerology and Occupational Safety, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)



Код МРНТИ 52.47.27

\*А.С. Хадиева, К.Т. Бисембаева, Г.С. Сабырбаева, А.И. Койшина

Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженеринг университеті (Ақтау қ., Қазақстан)

## МҰНАЙ ӨНДІРУДІ ҚАРҚЫНДАТУ МАҚСАТЫНДА ПОЛИАКРИЛАМИДТІ БІРТЕКТІ ЕМЕС ҚАБАТТА ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.** Мұнай кен орындары көп жағдайда олардың құрылымы бойынша біртекті емес қабаттардан түзіледі, бұл олардың жоғары қалдық мұнаймен қанығуын анықтайды. Сондықтан мұндай қабаттардан мұнай өндіруді арттыру қажеттілігі туындайды. Эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін белгілі бір фракцияның кварц құмымен толтырылған екі металл құбырдан тұратын модель қолданылды. Бұл әртүрлі өткізгіштік қабаттарын алуға мүмкіндік береді. Бұл модельде біртекті емес қабат мұнай өндіруді арттырудың ұсынылған әдісін зерттеді. Бұл жағдайда біртекті емес қабаттың мұнай өндірісін арттыру үшін полимер ерітіндісін айдауды қолдану ұсынылады. Сарқылған қабатты алу үшін бастапқыда біртекті емес шамамен бірдей дәрежесі бар ( $K_v=K/K_0$ ) қабатты біртекті емес қабатта әдеттегі сулану жүзеге асырылды.

**Түйінді сөздер:** тұтқырлық, біртекті емесдік, полимер, су басу, полиакриламид, біртекті емесдік дәрежесі, өткізгіштік, католит, жиек.

### Investigation of the effectiveness of polyacrylamide application in a layered heterogeneous formation in order to intensify the production of high-viscosity oil

**Abstract.** In most cases, oil fields are structurally formed by heterogeneous layers, which determine their high residual oil saturation. Therefore, there is a need to intensify oil production from such reservoirs. To conduct experimental studies, a model consisting of two metal pipes filled with quartz sand of a certain fraction was used. This makes it possible to obtain layers of different permeability. Using this model of a layered heterogeneous formation, the proposed method for intensifying oil production was studied. In this case, the use of polymer solution fringing is proposed to increase the oil recovery of a layered heterogeneous formation. In order to obtain a depleted formation, the usual flooding was initially carried out in a layered heterogeneous formation with approximately the same degree of heterogeneity ( $Co = K/K_0$ ).

**Key words:** viscosity, heterogeneity, polymer, flooding, polyacrylamide, degree of heterogeneity, permeability, catholyte, rim.

### Исследование эффективности применения полиакриламида в слоисто-неоднородном пласте с целью интенсификации добычи высоковязкой нефти

**Аннотация.** Нефтяные месторождения в большинстве случаев по своей структуре образованы неоднородными слоями, которые и определяют их высокую остаточную нефтенасыщенность. Поэтому возникает необходимость в интенсификации добычи нефти из таких пластов. Для проведения экспериментальных исследований была использована модель, состоящая из двух металлических труб, заполненных кварцевым песком определенной фракции. Это позволяет получать пласты разной проницаемости. На данной модели слоисто-неоднородного пласта изучали предлагаемый способ интенсификации добычи нефти. В данном случае для увеличения нефтеотдачи слоисто-неоднородного пласта предлагается применение оторочки раствора полимера. С целью получения истощенного пласта первоначально осуществили обычное заводнение в слоисто-неоднородном пласте с примерно одинаковой степенью неоднородности ( $K_v=K/K_0$ ).

**Ключевые слова:** вязкость, неоднородность, полимер, заводнение, полиакриламид, степень неоднородности, проницаемость, католит, оторочка.

#### Кіріспе

Мұнай және мұнай өнімдеріне деген қажеттілік жылдан жылға артып келеді, бұл әсіресе экономикасы өсіп келе жатқан елдерде байқалады. Кен орындарының көпшілігі табиғи режимде немесе суландыру арқылы игерілді. Бұл өндіруге қиын, тұтқырлығы жоғары қалдық мұнай қорларының өсуіне әкелді. Бұл мөлшер 50-70% аралығында болады деп болжануда. Екінші жағынан, жаңа ірі мұнай кен орындарының пайда болуы онша көп емес. Сондықтан энергиямен тұрақты қамтамасыз ету үшін сарқылған мұнай кен орындарын игеруге дейінгі мәселе маңызды болып табылады. Қабаттардың төмен мұнай шығымы коллекторлардың төмен өткізгіштігінен, біртекті емесдіктің жоғары деңгейінен, мұнайдың жоғары тұтқырлығынан туындайды. Нәтижесінде бұрын өндіру ұңғымаларын суландыру, мұнаймен қаныққан аймақтарды игеруге өсім тартылмаған [1, 2, 3, 4]. Әсіресе Қазақстанда осындай көп. Қазақстанның мұнай тұтқырлығы жоғары және шайырлы. Мұндай кен орындарында суландыруды қолдану үлкен әсер етпеді. Сондықтан суландыру арқылы қабатты қамту коэффициентін арттыру және қалдық мұнаймен қанығуды азайту арқылы тұтқырлығы жоғары мұнайды алу тиімділігін арттыру технологияларын дамыту қажеттілігі туындайды. Капиллярлық және адсорбциялық күштер арқылы қабатта болатын қалдық мұнай қанықтылығын төмендету үшін үшінші әдістерді қолдану ұсынылады. Үшінші әдістерге жылу, химиялық, гидродинамикалық, газды, акустикалық, бактериялық жатады [1]. Мұнай қабатына әсер

студің химиялық әдістеріне мыналар жатады: беттік белсенді заттар, полимерлер, сілтілер, қышқылдар, шайырлар және т.б. Аталған әдістердің кез келгенін өздігінен де, басқа әдістермен бірге де қолдануға болады. Химиялық әдістердің бірі полимерлі суландыру болып табылады.

Полимерлі суландыру әлемде кеңінен қолданылады. Сонымен, бұл жұмыста [4] әлемде мұнай кен орындарында 50-ден астам полимер айдау жұмыстары атап өтіледі. Айдау Еуропада, Солтүстік Америкада, Таяу Шығыста және т.б. жүзеге асырылды. Полимерлі суландыру ығысу фронтының теңестірілуіне, судың қозғалғыштығының төмендеуіне, қамту коэффициентінің жоғарылауына әкеледі. Полимерлі ерітіндіні айдау-бұл ағынның ауытқу технологиясы болып табылады. Бұл жұмыста [5] GL-50, R-1, POLY-T-101, Поликар, Алкофлад, MD-02,05,07 сияқты полимерлердің әртүрлі маркалары қарастырылады. Суландыру сипаттамаларының әртүрлі мақсаттары үшін әртүрлі сипаттамалары бар белгілі бір полимерлер қолданылатыны көрсетілген. Көптеген жұмыстар судың минералдануының, ығысу жылдамдығының және температураның полимерлерге әсерін көрсетеді [1-12]. Жұмыста [5, 9] полимерді мұнай өндіруде қолдану полимердің келесі қасиеттеріне негізделгенін көрсетті-жоғары тұтқырлық, тиксотроптылық, псевдопластика. Полимерлер су жүйелерінің реологиялық қасиеттеріне әсер етіп, әртүрлі тығыздықтағы гельдер түзе алады. Осыған қарамастан, игерудің соңғы сатысында полимерлі суландырудың тиімділігін жоққа шығаратын жұмыстар бар.

Жоғарыда келтірілген қысқаша әдебиеттерді шолудан полимер негізіндегі композицияларды қолдану тұтқырлығы жоғары мұнайдың қабаттан ығысуын жақсарту алатынын көруге болады. Осыған сүйене отырып, құрамында тұтқырлығы жоғары мұнай бар сарқылған қабаттан мұнай өндіруді күшейту мақсатында қабатты біртекті емес қабатта полиакриламидті (ПАА) қолданудың тиімділігін бағалау туралы шешім қабылданды. Біртекті емес қабаттағы суландырумен бірге полиакриламид (ПАА) ерітіндісін айдауды қолдануды ұсынамыз. Сонымен қатар, мұнайды біртекті емес қабаттан ығыстыру нұсқасы келесі сызба бойынша ұсынылады және қарастырылады: *суландыру*

- ПАА ерітіндісін жоғары өткізгіш қабатқа айдау;  
- мұнайды біртекті емес қабаттан электрохимиялық түрлендірілген сумен ығыстыру (*католит*).

Электрохимиялық түрлендірілген судың негізгі қасиеттері және оны алу жұмыстар да қарастырылған.

### Зерттеу әдістері

Эксперименттік зерттеулер әрқайсысының ұзындығы 102,5 см және диаметрі 26 мм болатын екі қабат моделінен тұратын қондырғыда жүргізілді (Сурет 1). Бұл модельдер эксперименттік қондырғыларға қойылатын барлық модельдеу талаптарына сәйкес келеді. Қабат моделінің параметрлері және эксперименттердің шарттары ұқсастық критерийлерін қанағаттандырады:

$$P_1 = \frac{L}{\sqrt{k_2}} \quad \text{және} \quad P_2 = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{\Delta P \cdot \sqrt{\frac{k_2 \cdot \varphi}{m_2}}}, \quad (1)$$

мұндағы,  $L$  – қабаттың ұзындығы, м;

$k_2$  – өткізгіштігі төмен қабаттың өткізгіштігі, мкм<sup>2</sup>;

$\sigma$  – мұнай-су шекарасындағы беттік керілу, мН/м;

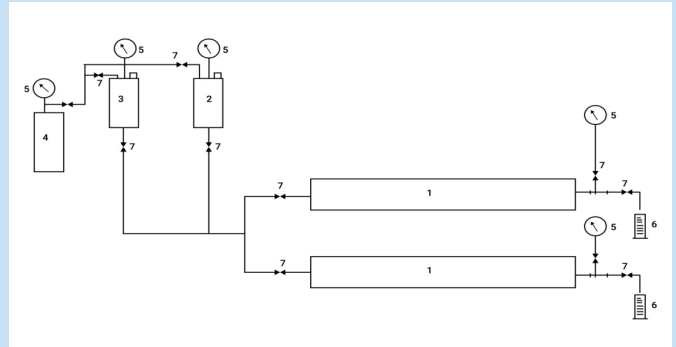
$\theta$  – ылғалдандырудың шеткі бұрышы;

$\Delta P$  – қабаттағы қысымның төмендеуі, МПа;

$\varphi$  – құрылымдық коэффициент;

$m_2$  – өткізгіштігі төмен қабаттың кеуектілігі, бірлік үлесі.

Осылайша,  $P_1$  кеуекті ортаның құрылымын анықтайды, ал  $P_2$  – гидродинамикалық күштердің кеуектердегі фазалардың таралуына әсерін көрсетеді. Автомодельділікті сақтау үшін осы ұқсастық критерийлері келесі шарттарға:  $P_1 \geq 0,5 \cdot 10^6$  және  $P_2 \leq 0,6$  қанағаттандырылуы керек.



1 – қабат моделі; 2 – сұйықтықты қысу (су, химиялық реагент ерітіндісі); 3 – мұнайды қысу; 4 – ауа балоны; 5 – манометрлер; 6 – өлшеу цилиндрлері; 7 – вентилдер

Сурет 1. Қондырғы сызбасы.

Figure 1. Installation diagram.

Рис. 1. Схема установки.

Есептеулер көрсеткендей, қабат моделінің өлшемдері мен эксперименттер жүргізу әдістемесі осы шарттарды қанағаттандырады. Кеуекті орта ретінде кварц құмы мен маршалит алынады. 1-кестеде қабатты біртекті емес қабаттың негізгі бастапқы деректері келтірілген.

Кесте 1

Бастапқы деректері және эксперименттердің нәтижелері

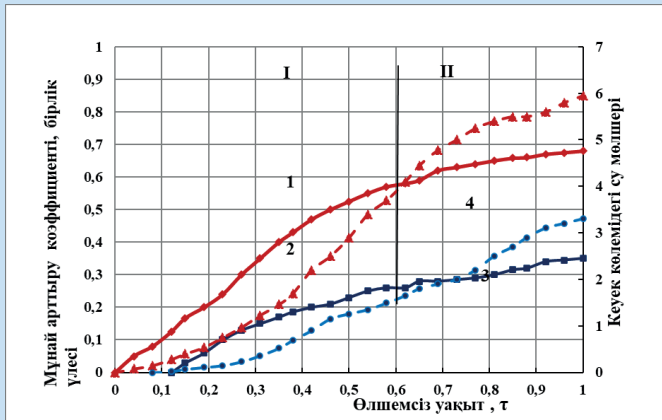
Table 1

Initial data and experimental results

Таблица 1

Исходные данные и результаты экспериментов

Параметрлер	№1 тәжірибе		№2 тәжірибе		№3 тәжірибе	
	Өткізгіштігі жоғары	Өткізгіштігі төмен	Өткізгіштігі жоғары	Өткізгіштігі төмен	Өткізгіштігі жоғары	Өткізгіштігі төмен
Мұнайдың тұтқырлығы, мПа·с	205	205	205	205	205	205
Кеуек көлемі, см <sup>3</sup>	190	175	180	172	184	170
Ауа бойынша өткізгіштігі, мкм <sup>2</sup>	2,8	1,7	2,55	1,7	2,7	1,8
Судың өткізгіштігі, мкм <sup>2</sup>	2,0	0,8	1,9	0,75	1,96	0,78
Бастапқы мұнай қанықтылығы, %	63,2	77,1	64,0	75,6	66,8	80,0
Бастапқы суға қанықтылық, %	36,8	22,9	36,0	24,4	33,2	20,0
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см <sup>3</sup>	60	-	55	-	55	-
Қабаттың біртекті емесдік дәрежесі, $K_0 = K_1/K_2$	2,5		2,53		2,51	



Жоғары өткізгіш қабат: 1 –МБК, 2 – айдалатын су мөлшері.

Өткізгіштігі төмен қабат: 3 – МБК, 4 – айдалатын су мөлшері.

I кезең – мұнайды тазартылған сумен ығыстыру, II кезең – дистилденген суды екі қабатқа одан әрі айдай отырып, ПАА ерітіндісінің 0,15% жиіктің жоғары өткізгіш қабатына айдау,  $t_i$  – сағатына ағымдағы уақыт;  $\Sigma t_i$  – эксперименттің жалпы уақыты

**Сурет 2. Мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) және айдалатын судың мөлшерінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (№1 тәжірибе).**

**Figure 2. Dependence of the oil recovery coefficient (KIN) and the amount of injected water on the dimensionless time  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (Experiment No.1).**

**Рис. 2. Зависимость коэффициента извлечения нефти (КИН) и количества закачанной воды от безразмерного времени  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (опыт №1).**

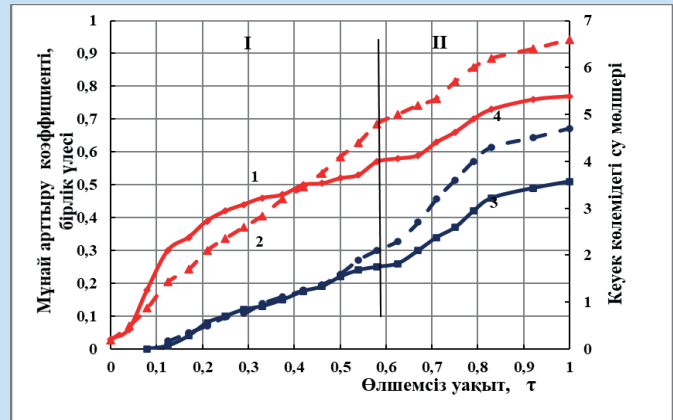
**Зерттеу нәтижелері**

Бірінші кезеңде барлық тәжірибелер мұнайды тазартылған сумен ығыстыру жүзеге асырылды. Осы мұнаймен шекарадағы тазартылған судың беттік керілуі 42,2 мН/м-ге тең болды. Сұйықтықты айдау бір уақытта екі қабатқа да жүргізілді. Су жоғары өткізгішті қабат арқылы кеуек көлемінің 4,1-4,8 мөлшерінде айдағаннан кейін I кезең аяқталды (Сурет 1-3). Осы кезеңде жоғары өткізгішті қабаттан мұнай бергіштік коэффициенті 0,56-0,58, ал өткізгішті төмен қабаттан 0,24-0,26 құрады. Біртекті емес қабаттар арасындағы мұнай бергіштік коэффициенті қатынасы шамамен  $K_0$  біртекті еместік дәрежесіне сәйкес келеді.

Мұнайдың біртекті емес қабаттан ығыстыру қарқындылығын арттыру үшін полиакриламид (ПАА) ерітіндісін жоғары өткізгішті қабатқа айдау туралы шешім қабылданды. №1 тәжірибедегі қалдық мұнаймен қанығу: жоғары өткізгішті қабатта 26,5%, ал төмен өткізгішті қабатта – 57,1% құрады.

Өткізгіштігі төмен қабаттан мұнай өндіруді күшейту үшін II кезеңде ПАА ерітіндісінің 0,15% ерітіндісін өткізгіштігі жоғары қабатқа айдау туралы шешім қабылданды.

Ерітінді кеуек көлемінің 30% мөлшерінде тазартыл-



Жоғары өткізгіш қабат: 1 –МБК, 2 – айдалатын су мөлшері.

Өткізгіштігі төмен қабат: 3 – МБК, 4 – айдалатын су мөлшері.

I кезең – мұнайды дистилденген сумен ығыстыру, II кезең – дистилденген суды екі қабатқа одан әрі айдай отырып, ПАА ерітіндісінің 0,25% жиіктің жоғары өткізгішті қабатына айдау рН=11

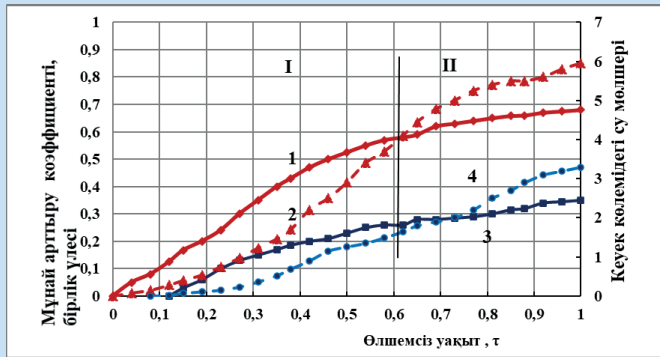
**Сурет 3. Мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) және айдалатын судың мөлшерінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (№2 тәжірибе).**

**Figure 3. Dependence of the oil recovery coefficient (KIN) and the amount of pumped water on the dimensionless time  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (Experiment No.2).**

**Рис. 3. Зависимость коэффициента извлечения нефти (КИН) и количества закачанной воды от безразмерного времени  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (опыт №2).**

ған суда дайындалады. Екі қабаттағы мұнайдың одан әрі ығысуы тазартылған сумен жүзеге асырылды. ПАА ерітіндісін айдау ығыстырылған сұйықтықтың өтуіне төзімділікті арттыра отырып, кеуектер бетіндегі молекулалардың адсорбциясына ықпал етеді. Сонымен қатар, ПАА ерітіндісінің ерітіндісін айдау жоғары өткізгішті қабаттан су ағынын шектейді. Бұл біртекті емес қабаттарға кіре берісте айдалатын сұйықтық ағынының қайта бөлінуіне ықпал етеді. Оның көп бөлігі өткізгіштігі төмен қабатқа түседі. Бұл мұнайдың ығысу жылдамдығының өсуіне және үрдістің көбірек қамтылуына ықпал етеді. Өткізгіштігі жоғары қабаттың айдалған суының өткізгіштігі төменге қатынасы 1,8-ге тең, бұл қабаттың біртекті емесдік дәрежесінен аз. Осылайша, ПАА ерітіндісін қолдану қабаттың біртекті емесдігін ішінара тегістеуге әкелгенін көреміз. Осының арқасында МАК өткізгіштігі төмен қабатта өседі (9%-ға). II кезеңнен кейінгі қалдық мұнай қанықтылығы: жоғары өткізгіш қабатта 20,2%, ал төмен өткізгіште – 50,1% құрады. Осылайша мақсатқа толық жете алмағанымызды көреміз. Сондықтан №2 тәжірибеде ПАА ерітіндісінің 0,25% ерітіндісін жүктеу туралы шешім қабылданды.

I кезең №1 тәжірибеге ұқсас. Мұнай алу коэффициенті шамамен бірдей: өткізгіштігі жоғары қабатта 56%, ал



Жоғары өткізгіш қабат: 1 – МБК, 2 – айдалатын су мөлшері.

Өткізгіштігі төмен қабат: 3 – МБК, 4 – айдалатын су мөлшері.

I кезең – мұнайды дистилденген сумен ығыстыру,  
II кезең – католитті одан әрі екі қабатқа айдай отырып,  
ПАА ерітіндісінің 0,25% жиектің жоғары өткізгіш  
қабатына айдау  $pH=11$

**Сурет 4. Мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) және айдалатын судың мөлшерінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (№3 тәжірибе).**

**Figure 4. Dependence of the oil recovery coefficient (KIN) and the amount of injected water on the dimensionless time  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (Experiment No. 3).**

**Рис. 4. Зависимость коэффициента извлечения нефти (КИН) и количества закачанной воды от безразмерного времени  $\tau = t_i/\Sigma t_i$  (опыт №3).**

өткізгіштігі төмен қабатта 24%. Қалдық мұнай қанықтылығы: жоғары өткізгішті қабат 28,1%, ал төмен өткізгішті қабат 57,4% құрады. II кезеңде ПАА ерітіндісінің 0,25% жиегі жоғары өткізгіш қабатқа құйылды. Бұл бізге қабаттың біртекті емесдігінің мұнайды ығыстыру үрдісіне әсерін одан әрі төмендетуге мүмкіндік берді (Сурет 2). Өткізгіштігі төмен қабаттың МАК мөлшері №1 тәжірибемен салыстырғанда 2 есе өсті (18% қарсы 9%). Бірақ мұнайдың қалдық қанықтылығы екі қабатта да жоғары болып қалды (19,1% және 43,8%).

#### Қорытынды

Жұмыстардың негізінде [5, 6, 7] бағалау аралас әдісі жүзеге асырылды. Әдістің мәні келесідей қорытындылады. №3 тәжірибенің I кезеңінде ығыстыру үрдісі №1 және 2 тәжірибелермен бірдей болды. II кезеңде химиялық электрмен модификацияланған суда (католит) дайындалған ПАА ерітіндісінің 0,25% ерітіндісін айдау жүзеге асырылды. Католит сілтілі сипатқа ие. Сондықтан мұндай жиекті кеуек көлемінің 30% мөлшерінде жоғары өткізгішті қабатқа айдау мұнаймен шекарадағы беттік керілудің 12 мН/м дейін төмендеуіне әкеледі (католитсіз  $\sigma=42,2$  мН/м). Содан кейін олар  $pH=11$  болатын католиттің екі қабатына айдауға көшті. Нәтижесінде жоғары өткізгішті қабаттан мұнайдың баяу ығысуы және төмен өткізгіштіктің өсуі байқалады. Осы кезеңде жоғары өткізгішті қабаттан МБК 20%, ал төмен өткізгіштен – 26,5% құрады.

Осылайша, мұнай бергіштік коэффициентін арттыру мақсатында мұнайдың реологиялық сипаттамаларына әсер етуге бағытталған суда еритін көпфункционалды құрамы бар полимердің тиімді құрамы жасалды.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Манжай В.Н. Қабаттардың мұнай шығымдылығын арттыру үшін ерімейтін полимерлерді қолдану. / В.Н. Манжай, А.В. Поликарпов, Е.А. Рождественский. // Томск политехникалық университетінің жаңалықтары. Георесурстарды жобалау. 2017, Т. 328. №12. Б. 29-35 (орыс тілінде)
2. Томас А. Полимерлік суландыру, мұнай берудің химиялық артуы (сEQR) – практикалық шолу. / Ред. д-р Лаура Ромеро-Зерон, 2016, Т. 2 (ағылшын тілінде)
3. Бин Вэй. Полимерлік суландыру, тұтқыр серпімді және тұтқыр пластикалық материалдар саласындағы жетістіктер. / Ред. авторы кәсіби Мохамед Эль-Амин, 2016, Б. 3-11 (ағылшын тілінде)
4. Тома Л. Жеңіл және ауыр мұнай кен орындарында мұнай беруді арттыру үшін полимерлі су басу. / Л. Тома, Б. Саяқ, Ж. Абилов, Е. Мазбаев. // Мұнай-газ аумағы. 2017. №7-8. Б. 58-66 (орыс тілінде)
5. Қойлыбаев Б.Н., Стреков А.С., Бисембаева Қ.Т., Мамедов П.З., Ахметов Д.А., Кириченко О.Г. // XL «Еуропалық зерттеулер: ғылымдағы, білім берудегі және технологиядағы инновациялар» халықаралық сырттай ғылыми-практикалық конференциясы, Польша, 2018 (ағылшын тілінде)
6. Салехи М.М. Ирандық мұнай кен орындарының бірінде полимерлік суландыруды модельдеу. / М.М. Салехи, А.А. Хекматзаде, В. Ахмад Сагадян, М. Масуми. // Дж. Петрол. 2016. Т. 26. №2. Б. 325-330 (ағылшын тілінде)
7. Жуан С., Клименко А., Левитт Д. Полимерлік суландыру: ерітілген оттегі мен темірдің айдау суындағы ерекшеліктерін белгілеу. // Талс, Оклахома, АҚШ, 11-13 сәуірде өткен Мұнай қайтарымын арттыру жөніндегі SPE конференциясында ұсынылған SPE 179614 құжаты, 2016 (ағылшын тілінде)
8. Юри Дж.Э., Руис А., Педерсен Г. және т.б. Гримбик – 129 сП Көп қабатты гетерогенді өзен коллекторындағы мұнай. // YPF-те полимерлік суландыруды бірінші рет табысты қолдану.

Мұнай қайтарымын арттыру жөніндегі 19-шы Еуропалық симпозиумда ұсынылған EAGE Th B06 баяндамасы, Ставангер, Норвегия, 24-27, 2017 (ағылшын тілінде)

9. Химченко П.В. Жогары температуралы коллекторлар мен жогары минералдануы бар қабат сулары жағдайында полимерлі су басу технологиясын қолдану кезінде қабаттардың мұнай беруін арттыру үшін әртүрлі құрамды полиакриламидті таңдау. // Мұнай-газ аумағы. 2017. №6. Б. 65-85 (орыс тілінде)
10. Мамалов Е.Н. Электрохимиялық түрлендірілген судың негізгі қасиеттері оны мұнай өндірісінде пайдалану кезінде қажет. // Ғылыми-практикалық материалдар. конф. «Жетілген кен орындарының жай-күйі және пайдалану перспективалары», Қазақстан, 2019, Т.1. – Б. 289-296 (орыс тілінде)
11. Мамалов Е.Н. Қабатты-гетерогенді қабаттың мұнай өндірісін арттыру мүмкіндіктерінің бірі. / Е.Н. Мамалов, Е.В. Горшкова. // Әзірбайжан мұнай шаруашылығы. 2020. №3. Б. 20-26 (орыс тілінде)
12. Мамалов Е.Н. Мұнай өндіруді арттыру мақсатында мұнай қабатына аралас әсерді қолдану. / Е.Н. Мамалов, Г.И. Джалалов, Е.В. Горшкова. // Polish Journal of Science. 2021. Т. 2. №39. Б. 15-23 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Manzhai V.N. Primenenie nerastvorimyykh polimerov dlya povysheniya nefteotdachi plastov. / V.N. Manzhai, A.V. Polikarpov, E.A. Rozhdestvenskii. // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017. T. 328. №12. S. 29-35 [Manzhai V.N. The use of insoluble polymers to enhance oil recovery. / V.N. Manzhai, A.V. Polikarpov, E.A. Rozhdestvensky. // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2017. Vol. 328. №12. P. 29-35] (in Russian)
2. Thomas A. Polymer flooding, chemical Enhanced Oil recovery (CEOR) – a practical review. / Edited by Dr. Laura Romero-Zeron, 2016, Ch. 2 (in English)
3. Bing Wei. Advances in Polymer Flooding, Viscoelastic and Viscoplastic Materials. / Ed. By Prof. Mohamed El-Amin, 2016, P. 3-11 (in English)
4. Toma L. Polimernoe zavodnenie dlya uvelicheniya nefteotdachi na mestorozhdeniyakh legkoi i tyazheloi nefti. / L. Toma, B. Sayuk, Zh. Abirov, E. Mazbaev. // Territoriya Neftegaz. 2017. №7-8. S. 58-66 [Toma L. Polymer flooding to increase oil recovery in light and heavy oil fields. / Toma L., Sayuk B., Abirov J., Mazbaev E. // Neftegaz territory. 2017. №7-8. P. 58-66] (in Russian)
5. Koilybaev B.N., Strekov A.S., Bisembayeva K.T., Mammadov P.Z., Akhmetov D.A., Kirisenko O.G. Making decisions on limiting the flow of water into oil wells, depending on the type of source information. // XL International Correspondence Scientific and Practical Conference «European Studies: Innovations in Science, Education and Technology», Poland, 2018 (in English)
6. Salehi M.M. Modeling of polymer flooding in one of the Iranian oil fields. / Salehi M.M., Hekmatzade A., Ahmadsaggadian V., Masumi M. // J. Petrol. 2016. Vol. 26. №2. P. 325-330 (in English)
7. Jouenne S., Klimenko A., Levitt D. Polymer Flooding: Establishing Specifications for Dissolved Oxygen and Iron in Injection Water. // Paper SPE 179614 presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Oklahoma, USA, 11-13 April, 2016 (in English)
8. Juri J.E., Ruiz A., Pedersen G. et al. Grimbeek – 129 cp Oil a Multilayer Heterogeneous Fluvial Reservoir. First Successful Application Polymer Flooding at YPF. // Paper EAGE Th B06 presented at the 19th European Symposium on Improved Oil Recovery, Stavanger, Norway, 24-27 April, 2017 (in English)
9. Khimchenko P.V. Podbor poliakrilamida razlichnykh sostavov dlya uvelicheniya nefteotdachi plastov pri primenении tekhnologii polimernogo zavodneniya v usloviyakh vysokotemperaturnykh kollektorov i plastovykh vod s vysokoi mineralizatsiei. // Territoriya Neftegaz. 2017. №6. S. 65-85 [Himchenko P.V. Selection of polyacrylamide of various compositions to increase oil recovery when using polymer flooding technology in conditions of high-temperature reservoirs and reservoir waters with high mineralization. // Neftegaz territory. 2017. №6. P. 65-85] (in Russian)
10. Mamalov E.N. Osnovnye svoystva elektrokhimicheski modifitsirovannoi vody, neobkhodimye pri ispol'zovanii ee v neftedobyche. // Materialy nauchno-praktich. konf. «Sostoyanie i perspektivy ekspluatatsii zrelykh mestorozhdenii», Kazakhstan, 2019, T. 1. – S. 289-296 [Mamalov E.N. Basic properties of electrochemically modified water required when using it in oil production. // Materials of the scientific and practical conference «The state and prospects of exploitation of mature deposits», Kazakhstan, 2019, Vol.1. – P. 289-296] (in Russian)
11. Mamalov E.N. Odnа iz vozmozhnostei uvelicheniya nefteotdachi sloisto-neodnorodnogo plasta. / Mamalov E.N., Gorshkova E.V. // Azerbaidzhanskoe neftyanoe khozyaistvo. 2020. №3. B. 20-26 [Mamalov E.N. One of the possibilities of increasing oil recovery of a layered heterogeneous

formation. / E.N. Mamalov, E.V. Gorshkova. // *Azerbaijan Oil Industry*. 2020. №3. P. 20-26] (in Russian)

12. Mamalov E.N. *Primenenie kombinirovannogo vozdeistviya na neftyanoi plast s tsel'yu uvelicheniya nefteotdachi*. / E.N. Mamalov, G.I. Dzhahalov, E.V. Gorshkova. // *Polish Journal of Science*. 2021. T. 2. №39. S. 15-23 [Mamalov E.N. *Application of combined effects on the oil reservoir in order to increase oil recovery*. / E.N. Mamalov, G.I. Jalalov, E.V. Gorshkova. // *Polish Journal of Science*. 2021. Vol. 2. №39. P. 15-23] (in Russian)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Манжай В.Н. Применение нерастворимых полимеров для повышения нефтеотдачи пластов. / В.Н. Манжай, А.В. Поликарпов, Е.А. Рождественский. // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. №12. С. 29-35 (на русском языке)
  2. Томас А. Полимерное заводнение, химическое увеличение нефтеотдачи (сEOR) – практический обзор. / Под ред. д-ра Лауры Ромеро-Зерон, 2016, Гл. 2 (на английском языке)
  3. Бин Вэй. Достижения в области полимерного заводнения, вязкоупругих и вязкопластических материалов. / Ред. автора проф. Мохамед Эль-Амин, 2016, С. 3-11 (на английском языке)
  4. Тома Л. Полимерное заводнение для увеличения нефтеотдачи на месторождениях легкой и тяжелой нефти. / Л. Тома, Б. Саюк, Ж. Абилов, Е. Мазбаев. // *Территория Нефтегаз*. 2017. №7-8. С. 58-66 (на русском языке)
  5. Койлыбаев Б.Н., Стреков А.С., Бисембаева К.Т., Мамедов П.З., Ахметов Д.А., Кирисенко О.Г. Принятие решения об ограничении притоков воды в нефтяные скважины в зависимости от типа исходной информации. // *XL Международная заочная научно-практическая конференция «Европейские исследования: инновации в науке, образовании и технологиях», Польша, 2018 (на английском языке)*
  6. Салехи М.М. Моделирование полимерного заводнения на одном из иранских нефтяных месторождений. / М.М. Салехи, А. Хекматзаде, В. Ахмад Сагадян, М. Масуми. // *Дж. Петрол*. 2016. Т. 26. №2. С. 325-330 (на английском языке)
  7. Жуан С., Клименко А., Левитт Д. Полимерное заводнение: установление спецификаций на растворенный кислород и железо в закачиваемой воде. // Документ SPE 179614, представленный на конференции SPE по повышению нефтеотдачи, проходившей в Талсе, Оклахома, США, 11-13 апреля, 2016 (на английском языке)
  8. Юри Дж.Э., Руис А., Педерсен Г. и др. Гримбик – 129 сП Нефть в многослойном гетерогенном речном коллекторе. Первое успешное применение полимерного заводнения на YPF. // Документ EAGE Th V06, представленный на 19-м Европейском симпозиуме по повышению нефтеотдачи, Ставангер, Норвегия, 24-27 апреля, 2017 (на английском языке)
  9. Химченко П.В. Подбор полиакриламида различных составов для увеличения нефтеотдачи пластов при применении технологии полимерного заводнения в условиях высокотемпературных коллекторов и пластовых вод с высокой минерализацией. // *Территория Нефтегаз*. 2017. №6. С. 65-85 (на русском языке)
  10. Мамалов Е.Н. Основные свойства электрохимически модифицированной воды, необходимые при использовании ее в нефтедобыче. // *Материалы научно-практич. конф. «Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений», Казахстан, 2019, Т. 1. – С. 289-296 (на русском языке)*
  11. Мамалов Е.Н. Одна из возможностей увеличения нефтеотдачи слоисто-неоднородного пласта. / Мамалов Е.Н., Горшкова Е.В. // *Азербайджанское нефтяное хозяйство*. 2020. №3. Б. 20-26 (на русском языке)
- Мамалов Е.Н. Применение комбинированного воздействия на нефтяной пласт с целью увеличения нефтеотдачи. / Е.Н. Мамалов, Г.И. Джалалов, Е.В. Горшкова. // *Polish Journal of Science*. 2021. Т. 2. №39. С. 15-23 (на русском языке)

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Хадиева А.С.**, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының Phd докторанты (Ақтау қ., Қазақстан), [hadieva\\_albina@mail.ru](mailto:hadieva_albina@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1123-0445>

**Бисембаева К.Т.**, т.ғ.к., Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а. (Ақтау қ., Қазақстан), [karlygasha\\_bissemb74@mail.ru](mailto:karlygasha_bissemb74@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-8213-7128>

**Сабырбаева Г.С.**, т.ғ.к., Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а. (Ақтау қ., Қазақстан), [gulzhans-a@mail.ru](mailto:gulzhans-a@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0106-5431>

**Койишина А.И.**, Phd докторы, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а. (Ақтау қ., Қазақстан), [akaman\\_k@mail.ru](mailto:akaman_k@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5537-9474>

**Information about the authors:**

*Khadiyeva A.S.*, Phd Doctoral Student of the Department of Petrochemical Engineering of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

*Bissembayeva K.T.*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

*Sabyrbayeva G.S.*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

*Koishina A.*, Phd, Senior lecture of the Department of Petrochemical Engineering of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

**Сведения об авторах:**

*Хадиева А.С.*, Phd докторант кафедры «Нефтихимический инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

*Бисембаева К.Т.*, к.т.н., и.о. асоц. профессора кафедры «Нефтихимический инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

*Сабырбаева Г.С.*, к.т.н., и.о. асоц. профессора кафедры «Нефтихимический инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

*Койшина А.И.*, и.о. асоц. профессора кафедры «Нефтихимический инжиниринг» Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

# TECH MINING KAZAKHSTAN 2024

## ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 2-я международная конференция и выставка

## 4-5 декабря 2024

### Астана, Казахстан



16+

[www.techmining.ru](http://www.techmining.ru)

## 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 (примерно 150...200 слов);
  - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, 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. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.