

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](mailto:minmag.kz)

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

#### Представители журнала:

Республика Узбекистан –  
**ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ**  
[karimov20-13@mail.ru](mailto:karimov20-13@mail.ru)

Российская Федерация, 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 30.09.2024 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 Nabashi** (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c. [St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima], Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

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

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

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

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

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

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

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

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

**В.Ф. Демин**, д-р техн. наук

**А.И. Едильбаев**, д-р техн. наук

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

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

**Ш.В. Каримов** (Узбекистан), PhD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**П.Г. Тамбиев**, канд. техн. наук

**Ш.Н. Туробов** (Узбекистан), PhD

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

**Р.А. Хамидов** (Узбекистан), PhD

**А.Н. Шодиев** (Узбекистан), д-р техн. наук

**Т.А. Чепуштанова**, PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 5** Здравствуй и с юбилеем тебя, наша любимая Alma-Mater!
- 8** Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова: прошлое и настоящее
- Геотехнология**
- 15** \*С.К. Молдабаев, Д.В. Бабец, К.Б. Рысбеков, А.Н. Нурманова  
Оценка влияния тектонических нарушений в донной части карьеров на безопасность извлечения запасов месторождения
- Разрушение горных пород**
- 22** \*А.А. Орынбай, А.Е. Алибаев, Т.С. Ибырханов  
Рациональные параметры БВР, обеспечивающие наименьшие затраты на добычу и переработку руды
- Металлургия**
- 31** Б.С. Баимбетов, Е.Б. Тажиев, \*Г.Ж. Молдабаева, А.А. Даулетбакова  
К проблеме переработки отвальных шлаков медеплавильных заводов Казахстана
- 38** \*Т.А. Chepushtanova, S.B. Yulusov, J.M. Yespenova, A.S. Tulegenov  
Development of a process for the production of hard solid nanophers (Fe-Co) from complex black slate source
- 44** \*А.С. Раимбекова, В.И. Капралова, Ш.Н. Кубекова, Л.А. Жусупова  
Исследование возможности переработки техногенных отходов месторождения Жайрем на растворы фосфатирования
- Обогащение полезных ископаемых**
- 51** И.Ю. Мотовилов, \*М.Б. Барменишинова, Ш.А. Телков, Р.С. Омар  
Изучение вещественного состава и оценка гравитационной обогатимости окисленных полиметаллических руд месторождения РК
- Переработка полезных ископаемых**
- 59** \*А.С. Бейсебаева, С.М. Жарылкан, Е.Н. Есжан, С. Азат  
Методы переработки отходов горно-металлургического производства
- Геоэкология**
- 66** \*Ы. Жакыпбек, А. Айдаркызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева  
Теміртау қаласының өнеркәсіптік ластануын қашықтықтан зондтау арқылы бағалау
- 71** М.Б. Нұрпейісова  
Асылдар ұшқан, жасындар қонған тұғырымыз бұл

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат  
Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Дорогие читатели!  
Уважаемые члены редколлегии!*

Сентябрь для тех, кто связал свою судьбу с горным делом, и профессионалов, для которых горное дело является ядром наук и практики, определяющих развитие цивилизации и благополучие людей, куда органично включаются геология, минералургия и металлургия, является в этом году значимым и памятным месяцем.

Состоялся 37-ой Всемирный Геологический Конгресс, длившийся с 25-го по 31-ое августа 2024 г. в г. Бусан (Корея), итоги которого мы можем подводить, начиная с сентября и продолжая до 2028 года, когда решено в августе провести следующий, 38-ой Конгресс в г. Калгари (Канада). Впереди еще в 2027 году 27-ой Всемирный Горный Конгресс.

На выставке Геологического Конгресса достойно выглядело Казахстанское общество геологов «КазГео» со своим стендом и представленной экспозицией. Из всех действующих в нашей стране геологоразведочных организаций свой авторитет и значимость в выполняемой для страны Программе по развитию минерально-сырьевой базы представили ТОО «Центргеолсьемка», казахстанско-канадская компания ТОО «Казахстанская геофизика» (она обслуживает аэрогеофизические исследования в 17-ти странах 5-ти континентов более 100 тыс. км<sup>2</sup> площади), ТОО «Казахмыс Барлау» (работающее в Казахстане на 47 проектах с инвестициями 100 млн долл. США и выполняющее бурение 200 тыс. метров скважин в год, начавшее подтверждать запасы по Международным стандартам CRIRSCO, KazRC, JORC, №43-101).

Через публикуемый номер журнала от имени горняков благодарю наши отечественные компании ТОО «Корпорация «Казахмыс», ERG, ТОО «Kazzinc» за спонсорскую помощь, оказанную в организации участия Казахстана в Выставке Конгресса и в командировке представителей общества геологов.

Много интересного и полезного можно было узнать, посещая в соответствии со временем и интересом доклады, которые были представлены по 32 различным тематическим направлениям (в общей сложности около 300 докладов) и в выступлениях 19 руководителей геологических служб из 10 стран.

Например, впервые была представлена информация, что Геологические службы Норвегии, Кореи, Китая:

- 1) произвели разведку океанического дна на глубинах 1500-5500 м, утвердили доказанные запасы по меди, цинку, кобальту, золоту, серебру, марганцу, железу и редкоземельным металлам;
- 2) создали оборудование и технологию выщелачивания (аналог чанового выщелачивания), рыхления, погрузки и доставки в подводных условиях;
- 3) объявили в Норвегии первый в истории человечества Конкурс на приобретение лицензий на разработку (уже представлены заявки от 6-ти компаний) с утвержденными Парламентом (Стортингом) условиями.

Мир движется семимильными шагами в вопросах недропользования. Были представлены доклады по новым методам поиска запасов лития, технологий извлечения лития из всех литийсодержащих минералов, открытые данные по запасам металла и перспективам добычи, которая достигнет в 2030 году 1,0 млн тонн по металлу, из которых 70% произведет Китай.

Из бывшего СССР присутствовали представители в ранге делегатов из трех стран – Казахстана, Узбекистана и Кыргызстана. Докладов с трибуны было два, их делал я и представитель Восточно-Казахстанского ГТУ.

Интересны были доклады Китая о медном порфириновом месторождении Дуобаошан с подтвержденными запасами около 3 млн тонн меди, 73 тонн золота, 80 тысяч тонн молибдена, 1046 тонн серебра и золотом месторождении в Рудном Алтае с запасами 1400 тонн.

В общем, можно сделать несколько выводов из того, что успел увидеть я:

- 1) мир понимает, что запасы в континентальной земной коре могут быть исчерпаны, так как потребность опережает рост запасов, которые реально можно еще найти. Эти возможности становятся невыполнимыми, и надо думать о поиске других источников производства металлов.

Эту тему я постараюсь развить, исходя из своих мыслей, которые я изложил в докладе на Конгрессе.

- 2) геологи, химики, горняки, машиностроители успешно продвинулись далеко в создании производства металлов из океанической земной коры и конкреций на дне морей и океанов;

- 3) метаморфические флюиды, которым на Конгрессе было посвящено более 10-ти серьезных докладов, становятся предметом серьезных исследований и объектов для будущего освоения недр;

- 4) «критические металлы» становятся предметом особого направления в геологии, горном деле, минералургии, затраты на развитие которых растут в геометрической прогрессии. Следует иметь в виду, что речь в масштабе интересов идет не только о литии, т.к. в перечень входят медь, цинк, ванадий, кобальт, платиноиды, никель, редкоземельные металлы. Далее можно уверенно говорить о серьезной конкурентоспособности Казахстана по всему перечню этих металлов, т.к. их расположение в определенных рудопроявлениях и регионах известно с советских времен, во-первых. Во-вторых, Казахстанская геологическая служба и ее специалисты способны развивать это направление результа-

тивно и быстро, если создать работоспособную организацию, похожую на «Казахмыс Барлау», определив направления и решив вопросы финансирования;

5) Комитету геологии и охраны недр совместно с геологическими организациями, Национальной Академией Наук, институтом геологических наук им. К.И. Сатпаева следует выработать конкретную долгосрочную программу развития минерально-сырьевой базы металлов, соответствующую запросам мирового рынка.

Следует в этом аспекте обязательно превентивно предусмотреть, что зарубежные ученые, банки и компании ищут и уже определяют опытные направления создания энергоаккумулирующих источников, в которых литию отводится уже далеко не первое место.

В этом маленьком сообщении можно подтвердить, что:

- мировое недропользование ориентируется не только на месторождения в континентальной земной коре, перемещая акценты на дно океанов и морей для добычи железо-марганцевых конкреций и на океаническую земную кору (уже тремя странами утверждены запасы, КНР создал рабочий вариант комплекса для подводного выщелачивания металлов);

- аналитический обзор показывает, что Казахстан остается конкурентоспособной страной по ресурсам большинства металлов на мировом рынке и обладает специалистами высокой квалификации в фундаментальной и прикладной геологии;

- государству следует организовать целенаправленную продуктивную деятельность геологических служб в содружестве с Национальной Академией Наук, Институтом геологических наук им. К.И. Сатпаева и предприятиями ГКМ.

Осталось только пожелать успехов Казахстанской геологической науке и специалистам, которые трудятся в поле. Их достижения скажутся на благополучии народа страны и ее экономическом развитии.

Событием номер два, к которому, я думаю, готовятся геологи и горняки, обогатители и металлурги не только в нашей стране, является празднование в октябре 90-летие КазНИТУ им. К.И. Сатпаева – «Alma – Mater» большинства из нас – представителей братства людей, связавших свою жизнь с использованием содержимого недр Земли.

Праздник ожидаемый, для каждого из нас – читателей журнала – представляющий ценную возможность окунуться в прошлую жизнь, в которой плеяда великих ученых большой страны СССР и первых национальных кадров воспитали из нас инженеров, выше которого не бывает звания в трудовой биографии.

В этом номере я кратко описал жизнь нашего выпуска горного факультета 1962 г., вспомнив славные былые времена нашего становления гражданами.

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



## ПОДПИСКА' 2024 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

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

## ЗДРАВСТВУЙ И С ЮБИЛЕЕМ ТЕБЯ, НАША ЛЮБИМАЯ ALMA-MATER!

Прошло 67 лет с той поры, как мы, 114 парней и девушек, кто после школьной скамьи, кто после службы Отечеству в армии или отработав рабочие смены, переступили порог нашего Казахского горно-металлургического (позднее в связи с его развитием Казахского политехнического) института, который сегодня, являясь одним из лучших цитаделей наук в новом Казахстане, зовется Казахстанский Национальный исследовательский технический Университет им. К.И. Сатпаева.

Этот запомнившийся на всю жизнь день нашего вхождения в обитель познания наук в тесной связи с производством и созданием благополучного социального климата в обществе оказался для нас выбором высшего уровня, каким была к этому времени теперь уже наша Alma-Mater.

Мы познавали азы фундаментальных наук, получали те знания, которые необходимо применять ежеминутно на будущей пожизненной практике, учились объединять обе ветви одного дерева в своем творческом стремлении к обновлению у лучших учителей, которые были укомплектованы великим ректором, акад. О.А. Байконуровым из среды уже вставших крепко на ноги национальных кадров и из того богатого букета, который мы получили их российских вузов.

Жизнь нашего выпуска 1962 года сложилась так же, как всех других, начиная с 1939 года (горный факультет в этом году закончили 32 человека). Каждый из нас определил свою судьбу выбором дальнейшего пути, занявшись наукой или влившись в ряды тех, кто ежедневно в заботах помогал экономике страны продолжать свой успешный рост.

Сегодня в составе Юбилера – КазННТУ им. К.И. Сатпаева успешно продолжают свой славный путь предшественники – КазГМИ и КазПТИ Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, который уже обеспечивает свое прямое предназначение профессорско-преподавательским составом, состоящим из собственных выпускников. Они встали на ноги, потому что историю горного факультета создали выдающиеся ученые, создавшие под одной крышей научно-практическую базу государственного значения. Мы помним их имена, начиная с Омирхана Аймагамбетовича Байконурова, который к каждому студенту всех факультетов и курсов относился одинаково по-отечески. Даже наказывал он нас за проступки так, что нам казалось, будто с нами советовались и давали многообещающее задание.

Профессора и преподаватели Е.Д. Шлыгин, И.И. Бок, Г.Ц. Медоев, А.Н. Карташев, П.М. Кошулько, И.З. Лысенко, А.С. Гескин, П.А. Рыжов, А.С. Попов, А.В. Бричкин, И.М. Никифоров, М.Г. Мильграм, М.Е. Медведев, Т.Х. Чормонов, М.К. Курмангалиев, Л.В. Гульницкий, С.А. Шрубко, А.Ф. Ковриго, А.Д. Спицын, С.П. Кравченко и десятки других построили своими знаниями и беззаветным трудом крепкую основу горняцкого братства, которое вместе с геологами, обогатителями и металлургами создало горно-металлургический комплекс Казахстана.

Выпускники КазГМИ – КазПТИ – КазННТУ – КазННТУ в количестве около 20 тысяч горных инженеров-технологов, маркшейдеров, электромехаников, шахтостроителей за прошедшие 90 лет способствовали достижению поставленных перед ними на местах их деятельности производственных целей. Казахстан и во времена первых пяти-

леток индустриализации СССР, и в годы Великой Отечественной войны, и в послевоенные годы восстановления народного хозяйства, и в период создания современных рудников, фабрик и заводов занимал передовые позиции в пределах Советского Союза в производстве цветных, черных и драгоценных металлов, горно-химического сырья и общепотребляемых полезных ископаемых. Ныне в условиях рыночной экономики инженеры, вышедшие из аудиторий горно-металлургического института в составе КазННТУ, продолжают развивать освоение недр, создавая нашей стране возможности конкурентоспособности, импортозамещения и привлечения инвестиционного капитала.

Среди выпускников института во все времена на небосводе научных знаний и практической деятельности ярко горят имена Героев Социалистического труда В.А. Гребенюка, Г.О. Омарова (одного из пяти братьев – создателей выдающейся семейной династии инженеров-выпускников КазГМИ – КазПТИ и МВТУ им. Н.Э. Баумана), акад. НАН РК О.А. Байконурова, Ш.А. Алтаева, Ш.А.-Г. Болгожина, Ж.С. Ержанова, Б.Р. Ракишева, Е.И. Рогова, Н.С. Буктукова, лауреатов Ленинской премии СССР А.Н. Джакупбаева и И.С. Когана, лауреатов Государственной премии СССР Д.О. Ешпанова, С.М. Мауленкулова, В.Ш. Шарипова, В.Ф. Щербинина, лауреатов Премии Совета Министров СССР М.Ж. Битимбаева, А.С. Гринבלата, В.Ф. Спивакова, известных ученых А.М. Бейсебаева, И.Е. Ерофеева, Л.А. Крупника, В.И. Нифадьева, М.Б. Нурпеисовой, Б.У. Раскельдинова, Г.И. Тамбиева, А.Ф. Цехового, П.Ч. Чулакова, С.В. Цоя, А.Б. Бегалинова, Х.А. Юсупова.

Начав свое обращение к коллективу нашей общей гордости сегодняшнего КазННТУ им. К.И. Сатпаева от имени выпуска горного факультета 1962 года, хочу рассказать о разноплановой и достойной гордости жизни с того памятного дня, когда нам были вручены Дипломы горных инженеров и мы получили назначение на места своей работы.

Будучи в настоящее время главным редактором «Горного журнала Казахстана», я хочу начать свой экскурс в биографию этого выпуска с выдающегося горного инженера, доктора технических наук, профессора, моего друга и сокурсника, основателя «Горного журнала Казахстана» Тамбиева Г.И.

Только то, что он на свой страх и риск в сложные годы в экономической жизни страны в 2003 году создал этот научный для консолидации усилий научных кадров и производственников печатный орган, который по сей день финансируется из его собственных средств, не являясь прибыльным, уже создало ему прижизненную славу до его ухода из жизни.

Но главным его достижением и подарком горнякам своей родной страны явились разработка и создание впервые в СССР технологии производства гранулированных рассыпных аммиачно-селитренных ВВ и средств механизированного транспорта их с зарядкой скважин и шпуров.

Это был революционный технический прорыв в горном деле и вообще в вопросе разрушения массива недр на открытой поверхности и в подземных условиях. Я, в свою очередь, горжусь еще и тем, что был первым, кто испытал созданные в его коллективе ТОО «НПП «Интеррин» в 1968 г. эту чудо-технологии в составе ВВ и зарядно-

доставочной установки ЗДУ-50, установленной на 5-ом горизонте блока 513 Пологий, впервые произведя зарядку, и взорвал около 1000 тонн руды.

Геннадий Иссаевич не остановился на этом достижении и создал первое в Казахстане частное предприятие (государственного такого в стране не было, и мы закупили ВВ и СВ из-за рубежа 100%), которое сегодня обеспечивает более 30% потребности в ВВ.

Сейчас этот бизнес перешел в руки его сына Петра Геннадьевича, который достойно продолжает дело отца. Оно развивается так, что в некоторых своих направлениях в улучшении качества и уровня механизации опережает мировые стандарты.

Береза Валентин стал директором крупнейшего в СССР подземного уранового рудника в г. Степногорске, награжден орденом Ленина.

Чернецов Глеб в последней своей должности работал главным инженером урановых проектов Казахстана и Узбекистана в г. Ташкент в институте ВНИИПромЦветМет.

Сомкин М. стал начальником Технического управления крупнейшего железорудного комбината Кандалакша в Карелии.

Акатаев Султангали был директором Греховского рудника Зырянского СЦК и директором комбината Акбакайзолото в Жамбылской области.

Баязитов Нариман, наш неизменный староста, обеспечивавший нас бесплатными путевками в санатории всего СССР, сделавший много для развития рудников комбината Майкаинзолото, стал любимым преподавателем горного дела на казахском языке.

Буюкиди Иван работал заведующим БВР на комбинате «Ачполиметалл», позднее зав. горными работами бокситовых рудников на севере Греции.

Вороненко Володя на Лениногорском полиметаллическом комбинате был главным специалистом, которому доверяли все работы, связанные с реконструкцией рудников, модернизацией конструктивных решений по системам разработки. Он был составителем и соавтором первого в стране «Справочника по горному делу» и совместно с М.Ф. Шнайдером положил начало созданию комбинированного открыто-подземного способа разработки месторождений.

Гурьевский Борис в составе КазПТИ – КазНТУ вырос до лучшего специалиста в Казахстане по открытым горным работам и был «правой рукой» акад. НАН РК Б.Р. Ракишева.

Жаркенов Марат стал техническим директором – главным инженером Жезказганского горно-металлургического комбината и заведующим кафедрой проведения горных выработок родного института (университета), автором ряда учебников.

Коняев Юра и Раузин Володя были среди основателей Лаборатории по комплексной механизации БВР, которую они создавали совместно с Бейсебаевым А.М. и Тамбиевым Г.И.

Кульбаев Рахимжан стал одним из создателей первого в Казахстане завода по производству патронированных ВВ.

Мамбетов Махмет достиг должности заместителя Председателя Казовпрофа и сыграл значительную организационную роль в сохранении роли независимых профессиональных союзов трудящихся в новой стране.

Саринжипов Маркус работал главным инженером Греховского рудника в ЗСК и на комбинате Акбакайзолото, позднее стал генеральным директором АО «Казвзрыв-

пром», сделав много полезного в развитии собственного производства ВВ в Казахстане.

Тойшибеков Шадан был в числе известных шахтостроителей, приняв в свое время активное участие в строительстве рудника «Глубокий» Ачисайского полиметаллического комбината и новых мощностей на Миргалымсайском месторождении.

Шабанбаев Ельге оставил глубокий след в развитии новых мощностей и строительстве горизонтов рудников «Глубокий» и «Ачисай» Ачисайского полиметаллического комбината в должности главного инженера и директора, соответственно. Ельге Хамзеевича до сих пор с глубоким уважением вспоминают в Алжире, где он в течение трех лет организовал строительство самого крупного до сих пор в Африке подземного свинцово-цинкового рудника «Эль-Абед». Арабы до сих пор добрым словом вспоминают его и даже называли детей Шабанбай и Хамза.

Шегирбаев Амирбек заслужил после себя всеобщее уважение коллективов как бывшего Жезказганского горно-металлургического комбината, так и нынешнего ТОО «Корпорация «Казахмыс», работая заместителем генерального директора по горно-капитальным работам, на котором лежала вся ответственность за ежегодный ввод новых мощностей по добыче руды, из которой извлекалось и выплавлялось не менее 200 тысяч тонн катодной меди в год в течение почти 30 лет.

Выходцев Вячеслав остается после выхода на пенсию в памяти работников Донского ГОКа, добывающего 20% мирового объема хрома, как начальник Технического управления, который своевременно обеспечивал и проектной документацией, и решением вопросов технической подготовки, своевременность и новизна которых были всегда на острие повестки дня из-за тяжелых горно-геологических и горнотехнических условий месторождения, которое углубилось уже до 1000 м от поверхности.

Ильшев Иран, будучи горным инженером, заслуженно получил звание «народного акына» за прекрасную игру на домбре и божественный голос как дар природы, и он до сих пор возглавляет праздничные концерты в Кокшетау.

Таковыми же голосами отличались еще два наших сокурсника Алдамжаров Амантай и Шапагатов Саин. Первый к тому же возглавлял службу по взрывным работам и сейсмической разведке в геологических партиях, второй успешно руководил областной профсоюзной организацией в Актау.

На Соколовско-Сарбайском горно-производственном объединении показали себя одними из самых ценных работников ныне пенсионеры Маулямбаев Турсун и Станков Анатолий. Турсун, приехавший к нам на первый курс из Китая и благодаря своим знаниям и организаторскому таланту поработавший после окончания института в Бирме и Египте, свободно говорил на казахском, русском, узбекском, уйгурском, английском, арабском и бирманском языках. Он же под руководством акад. АН КазССР О.А. Байконурова впервые в мире применил на карьерах ССГПО для оптимизации технико-экономических показателей теорию массового обслуживания, подготовил одного из самых современных учебников по открытым горным работам и первый в Казахстане Казахско-русско-английский горнотехнический словарь (авторами этого учебного пособия стали он и я).

Анатолий, руководя техническим управлением, сумел в свои рабочие годы стать одним из надежных, технически грамотных инженеров, который разбирался во всех

природных тонкостях разнообразия руд на Соколовском, Сарбайском, Качарском месторождениях, в открытом и подземном способах, в охране подземных горных работ от опасности затопления грязевыми потоками, находящимися над рудным массивом, в управлении выходом руды по кусковатости после взрывных работ.

Я сам тоже не остался в стороне от своих товарищей. После начала моей трудовой деятельности на руднике «Западном» мне повезло в начале своей карьеры встретиться снова уже в другом качестве с Геннадием Иссаевичем Тамбиевым, о чем я кратко рассказал.

Великолепной трудовой школой послужило участие в организации скоростного проведения вертикальных и наклонных восстающих с применением механизированных монорельсовых комплексов КПВ-2 и КПВ-4 и самоходного дизельного оборудования на уровне мировых рекордов.

Такую же закалку я получил, руководя горной частью строительства подземного рудника «Глубокий» протяженностью по вертикали 1000 м, который к тому же был самым водообильным в мире с водопритоками в межень 7000 м<sup>3</sup>/час и в паводок до 40000 м<sup>3</sup>/час. Эта моя работа была оценена государством Премией Совета Министров СССР.

Акад. О.А. Байконуров призвал меня под свои знамена в качестве аспиранта, и я, работая на производстве, защитил кандидатскую диссертацию, впервые в мире применив для оптимизации технико-экономических показателей погрузочно-доставочных и транспортных операций в зависимости от диаметра и глубины скважин и шпуров, мощности рудных тел, расстояния доставки и вида комплексов оборудования с применением теории массового обслуживания.

Мой учитель Омирхан Аймагамбетович вместе с нашим старшим коллегой Крупником Л.А. и с участием специалистов Ачисайского полиметаллического комбината Мауленкулова О.А., Когана И.С., Гринблата А.С. создал опять же впервые в мире тиксотропную пастовую закладку, внедрением которой в производство руководил я, добыв с 1978 года по 1989 год более 8,5 млн тонн богатой по свинцу руды, ранее списанной в безвозвратные потери.

Наша творческая команда (С.М. Мауленкулов, И.С. Коган, А.С. Гринблат, Р.Я. Тушминский и я) с участием институтов Гипроцветмет и ВНИМИ в 1976-1984 гг. разработали и применили впервые в СССР технологические схемы повторной разработки, добыв из списанных в потери опорных и барьерных целиков около 2,0 млн тонн руды.

Под руководством акад. НАН РК Ракишева Б.Р. за 2011-2020 гг. я вместе с коллегами из рудников ТОО «Корпорация «Казахмыс» внедрили в производство новые технологии буровзрывных работ и циклично-поточного транспорта с экономическим эффектом за 2014-2018 гг. 11822,156 млн тенге, который официально зарегистрирован.

За годы своего производственного стажа в 2006-2019 гг. я осуществлял научное руководство строительством двух ныне действующих предприятий золотодобывающей отрасли Жалтырбулакское в Карагандинской области и Бокко-Васильевское в Восточно-Казахстанской с ТОО «Ланкастер Групп».

Одновременно в период 2004-2010 гг. я создал совместно с мировым лидером в области производства ВВ и СВ компанией Orica (Австралия) предприятие «Orica-Казахстан» в г. Усть-Каменогорске, обеспечивающее ныне более 20% потребностей нашей страны.

Мне особенно примечательны факты из моей биографии, связывающие меня с университетом. В 1994 г. по моему предложению Б.У. Раскельдинов начал организацию специальной группы студентов-уранщиков, в этом году же я сумел оборудовать на горном факультете первую аудиторию с 24-мя компьютерами.

Наш выпуск по инициативе Баязита Н.Х. и Батюка М.П. обязался друг перед другом каждые 5 лет, начиная с 1967 г., встречаться в дружеском кругу в общении с деканом факультета и преподавателями. Мы ни разу не пропустили этот святой для нас праздник до последней встречи в 2017 г.

В 2012 г. мы выпустили сборник воспоминаний, 50 экз. которого были преподнесены в техническую библиотеку Университета. Надеюсь, что они сохранились, и их можно использовать на ознакомительных лекциях со студентами. Думаю, что они сыграют заметную воспитательную роль в учебном процессе.

В юбилейные дни нашего института, ставшего под новым руководством университетом – лучшим техническим вузом страны, мы преподносим традиционный отчет о своих достижениях, которые стали возможными потому, что мы получили образование и воспитание в этих стенах, ставших для нас родным домом.

#### *Уважаемые читатели журнала! Дорогое нам руководство Университета во главе с ректором!*

Мое поздравление от имени выпуска горного факультета 1962 г. – это продолжение сотрудничества и встреч с вами, из которых мы снова, несмотря на наш солидный возраст, получаем заряд бодрости от общения с новым поколением образованных и творчески настроенных патриотов нашей Родины!

Для нас особенно знаменательным является присутствие имен двух великих ученых-казахов, которые прославили Казахстанскую науку – Каныша Имантаевича Сатпаева и Омирхана Аймагамбетовича Байконурова – в названии Университета и горно-металлургического института. Их светлые образы, их величественные фигуры, титанический труд, заботливое отеческое отношение к следующим за ними поколениям, стали для нас опорой и путеводной звездой, путевкой для труда на благо своего народа.

Мы поднимаем тост в честь и во славу горняков – племени сильных духом, крепких в дружбе, умеющих любить и почитать, знающих цену рабочей смены, верных данному слову, инженеров – знатоков недр матушки-Земли, вышедших на тернистый и счастливый путь из стен любимой Alma-Mater!

Слава нашему Университету, процветания и исполнения его планам, здоровья, успехов и благополучия коллективу, своим трудом вносящему достойную лепту в процветание нашего общего дома – родного Казахстана!

*Главный редактор «Горного журнала Казахстана»,  
выпускник горного факультета 1962 г.  
М. Битимбаев*

Код МРНТИ 52.01.09:53.01.09

## ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. О.А. БАЙКОНУРОВА: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

*Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова – это первая кузница инженерных кадров Казахстана. Настоящая статья – это дань уважения тем, кто создал и укрепил институт, готовил и готовит кадры для горно-металлургической отрасли Казахстана.*

*Материалы к статье готовили: К.Б. Рысбеков, С.К. Молдабаев, М.Б. Барменишинова, Г.М. Киргизбаева, Т.А. Чепуштанова, К.К. Елемесов, Ш.Н. Кубекова, К.К. Кудайбергенов, И.Н. Столповских.*

История кафедры «Горное дело» неразрывно связана с открытием в Алматы Казахского горно-металлургического института в 1934 году. Со дня открытия кафедры по подготовке горных инженеров в 1935 году неоднократно менялось ее название. Первым заведующим кафедрой разработки полезных ископаемых был профессор Г.В. Ключанский – известный в стране ученый в области горного дела. В 1947 г. начали обучать специалистов-технологов, разработчиков угольных месторождений. И наконец, в 1961 году кафедра получила название «Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых». До 1964 г. кафедру возглавлял академик АН Казахской ССР, д.т.н., профессор А.С. Попов, а с 1964 года и по 1980 год кафедрой руководил академик АН КазССР, д.т.н., профессор О.А. Байконуров. В разные годы кафедру возглавляли известные в стране и мире ученые, профессора чл.-корр. АН КазССР П.Ч. Чулаков, академик НАН РК, К.Н. Адилов, Б.У. Раскильдинов, академик РОО НАН РК, Х.А. Юсупов, к.т.н. И.З. Амирханов, д.т.н., проф. Т. Кабетенов и другие.

Кафедра всегда характеризовалась высоким научным и педагогическим уровнем профессорско-преподавательского состава. На кафедре работали доктора технических наук, профессора Ш.А.Г. Болгожин, С.В. Цой, И.А. Черемушенцев, кандидаты технических наук, доценты И.М. Никифоров, Т.Е. Жакупов, Н.Х. Баязит, Д.Д. Каражанов, В.А. Мельников, О.Н. Ниязов, Ш.И. Ибраев, М.М. Магауянов, М.Н. Джуркашев.

Первая выпускающая кафедра *открытых горных работ* в Казахстане создана в КазНТУ в 1988 г. под руководством д.т.н., профессора, академика НАН РК Б.Р. Ракишева. Однако подготовка горных инженеров по открытой разработке месторождений полезных ископаемых в стенах университета начата в 1950 г. на кафедре «*Разработка пластовых месторождений*» по предложению академика АН КазССР А.С. Попова. Первопроходцами были кандидаты технических наук, доценты Б.И. Ташенов, В.П. Софрыгин, М.Е. Медведев, Б.А. Гурьевский, М.Н. Сандибеков.

Одной из старейших кафедр университета была кафедра «*Разрушение горных пород и проведение выработок*» (позднее «*Разрушение горных пород и шахтное строительство*»). Кафедрой заведовали профессор Г.В. Ключанский, доктор технических наук, профессор, член-корр.

АН КазССР А.В. Бричкин, доктора технических наук, профессора П.М. Кошулько, А.М. Бейсебаев, С.М. Рахимбеков, А.Б. Бегалинов.

История кафедры тесно связана с именами известных ученых-взрывников, докторами технических наук, профессорами Г.И. Тамбиевым, М.И. Жаркеновым, кандидатами технических наук, доцентами М.Ф. Ким, С.П. Кравченко, Г.И. Толкушевым, А.Я. Пшеничным, Г.М. Духовой, Т.Г. Ильмухамедовым, Ю. Коняевым, А.Г. Толкушевым, А.О. Алибаевым, А. Аксель и старшим преподавателем М.М. Муртазиным.

В 2016 г. все технологические кафедры горного профиля были объединены в кафедру «*Горное дело*», которую возглавил кандидат технических наук, профессор К.Б. Рысбеков.

С 2020 года заведующим кафедры на конкурсной основе назначен доктор технических наук, профессор С.К. Молдабаев.

Среди выпускников кафедры три Героя социалистического труда, 2 лауреата Ленинской премии, более 15 лауреатов Государственной премии ССР, КазССР, более 20 директоров крупных предприятий, первый заместитель Председателя Совета Министров КазССР, министры и крупные ученые.





\* \* \*

Кафедра *«Маркшейдерское дело и геодезия»* была основана в сентябре 1934 года в Казахском горно-металлургическом институте. Первоначально кафедру возглавил доцент Н.С. Старков, позже смененный доцентом П.А. Рыжовым. В 1938 году началась подготовка горных инженеров-маркшейдеров в связи с развитием горнодобывающей промышленности Казахстана.

Во время Великой Отечественной войны кафедру возглавляли ведущие российские ученые, такие как профессор Н.Г. Келль, А.С. Хренов, Н.С. Остащенко-Кудрявцев, которые заложили основы казахстанской школы маркшейдеров. В 1943 году кафедра была разделена на две отдельные кафедры: «Маркшейдерское дело» и «Геодезия».

Кафедра «Маркшейдерское дело» в разное время возглавлялась доцентами С.С. Куровым и Л.А. Шрубко, в то время как кафедру «Геодезия» возглавляли доценты Г.Д. Лухтанов, Е.П. Мاستицкий, С.А. Шрубко, Б.М. Жаркимбаев.

После объединения этих кафедр в 1988 году кафедру возглавляли доцент Б.М. Жаркимбаев, профессор Ж.Д. Байгулин, доцент О.А. Сарыбаев, доктор PhD Э.О. Орынбасарова.

В настоящее время исполняет обязанности заведующего кафедрой ассоциированный профессор Г.М. Киргизбаева.

Кафедра подготовила около 1500 горных инженеров-маркшейдеров. В 1939 году была открыта аспирантура, а среди первых аспирантов оказались А.Ж. Машанов, А.К. Каюпов и К.Ф. Ермолаев.

На кафедре работал А.Ж. Машанов, советский горный инженер, геолог, основоположник казахстанской школы геомехаников, член-корреспондент АН Казахской ССР, заслуженный деятель науки Казахской ССР. Он также получил известность как писатель и переводчик трудов аль-Фараби.

Кадровый потенциал кафедры всегда был высоким. На кафедре работали доктора технических наук, профессора Т.К. Калыбеков, А.А. Машанов, Л.С. Шамганова, Х.К. Касымканова, А. Курманкожаев кандидаты технических наук, доценты П.М. Кислов, П.А. Атрушкевич, Б.С. Касенов, В.С. Передеро, Ш. Бекбасаров, И. Кузнецова, Т.И. Туякбаев, А.В. Земцова, Е.В. Плотникова, А. Каймаков.

В настоящее время на кафедре работают профессор М.Б. Нурпеисова, известный ученый и организатор науки, доктора технических наук, профессора Ж.Д. Байгулин, С.В. Турсбеков, кандидаты технических наук Т.Б. Нурпеисова, Г. Мадимарова и др.

Кафедра предлагает образовательные программы по бакалавриату, магистратуре и докторантуре в областях геопространственной цифровой инженерии, землеустройства, кадастра и маркшейдерского дела.

На кафедре действуют три филиала:

- ТОО «Leica Geosystems Kazakhstan»;
- РГП на ПХВ «Национальный центр геодезии и пространственной информации» Комитета геодезии и картографии МЦРИАП РК;
- ТОО «Институт Ионосферы».

Достижения подчеркивают долгую и успешную историю кафедры, ее активное развитие и приверженность высоким стандартам в области маркшейдерии и геодезии. Внесенные изменения и улучшения демонстрируют ее постоянный рост и стремление к инновациям, что позволяет кафедре сохранять лидирующие позиции как на национальном, так и на международном уровнях.

Кафедра гордится своими выпускниками, среди которых заместители министров цветной металлургии КазССР Л.М. Катков и Л.А. Парамонов, аким г. Семей Е. Салимов, первые руководители крупных горных предприятий М.Г. Седлов, С.М. Мауленкулов, И.И. Думанов, К.И. Итемгенов, Д.Е. Какенов, А. Дауренбеков, А.И. Баяндаров, ведущие профессора В.Н. Попов (МГИ), Н.П. Ерофеев (г. Красноярск), С.П. Кудряшов (г. Кривой Рог), Р.П. Окатов (КарГУ), Т.Т. Ипалаков (ВКТУ).



\* \* \*

Кафедры *«Транспортные и горные машины»* и *«Электрификация и автоматизация горного производства»*.

В апреле 1937 года в связи с необходимостью изучения специальных дисциплин в Казахском горно-металлургическом институте была открыта кафедра *«Рудничный транспорт»*. Первым заведующим кафедрой был назначен А.Н. Кулибаба – выпускник Екатеринославского (Днепропетровского) горного института и Днепропетровского института железнодорожного транспорта. Он был приглашен в КазГМИ из г. Новосибирска, где работал заместителем главного инженера проектного института «Кузбассшахтострой».

С 1 сентября 1949 года кафедра получила новое название *«Горная механика и горнозаводской транспорт (ГМ и ГЗТ)»*. Заведующим кафедрой был назначен кандидат технических наук, доцент А.Н. Карташев, он возглавлял кафедру до 1962 года.

В 1959 году на кафедре ГМиГЗТ была открыта подготовка инженерных кадров по специальности «0634 – Горный инженер-электромеханик по автоматизации горного производства», а в 1962 году эта кафедра разделилась на две самостоятельные. Одна из которых стала называться *«Электрификация и автоматизация горного производства (ЭАГП)»*, а вторая – *«Промышленный транспорт»*.

Возглавлял кафедру ЭАГП А.Н. Карташов, который в 1938 году был направлен в КазГМИ из Московского горного института.

На кафедре ЭАГП в это время сложился коллектив опытных преподавателей, канд. техн. наук, доценты: А.М. Лисютин, М.П. Зуб, О.Я. Шоль, Н.П. Беленко, И.М. Ефремов, Л.А. Крупник, В.А. Пальгов, Ю.Л. Березин, А.А. Утеев, В.И. Мельничуков, Б. Пушпакбаев, ст. преподаватель М.П. Щербакова, преподаватель А.С. Банченко. С производства пришли крупные опытные специалисты: доцент Е.Е. Мирошник с должности главного механика Текелийского СЦК и доцент А.Т. Филимонов с должности заместителя главного механика Жезказганского ГМК.

За период с 1959 по 2007 годы было подготовлено около 1000 специалистов – горных инженеров-электромехаников по автоматизации горного производства, которые были востребованы в Казахстане, ближнем и дальнем зарубежье.

Среди выпускников этой специальности наибольших успехов достигли выпускники: В.К. Бажко, работавший министром РК по ЧС; М.Т. Укшебаев – д.т.н., работающий генеральным директором АО «Алматыметрокурылыс», Генеральный директор ТОО «Bazis Konstruktion – Bazis Metro»; Б.И. Исаков – к.т.н., доцент, работавший главным инженером – техническим директором АО «Массагет» и директором горного института КазНТУ; И.А. Леман – технический директор АО «Автоматика».

Выделенной из состава кафедры горной механики и горно-заводского транспорта, в соответствии с профессиональной направленностью оставшегося профессорско-преподавательского состава кафедре было дано название «Промышленный транспорт», а ее заведующим был назначен выпускник Казахского горно-металлургического института, канд. техн. наук, декан горного факультета, участник ВОВ, доцент А.Д. Спицын.

На кафедре работали преподаватели, к.т.н., доц. А.М. Лисютин, Н.В. Мохов, Ю.Д. Рат, С.А. Джиенкулов, ст. препод. К.А. Сикорская, лаборанты Е.Н. Руденко, О.П. Ерохин, И.В. Гайдин, В.Ф. Китаев, А.Н. Григорьев, В.И. Сильченко.

Кафедрой в разные периоды заведовали д.т.н., профессора С.А. Джиенкулов, А.Т. Филимонов, Л.А. Крупник, Р.Н. Таукелев, И.Н. Столповских, к.т.н., доцент Б.И. Исаков.

В 2017 году кафедра Т и ГМ была объединена с кафедрами «Металлургические машины и оборудование» и кафедрой «Машины и оборудование нефтегазовой промышленности», она стала называться «**Технологические машины и оборудование (ТнГМ)**», заведующим кафедрой назначен к.т.н., профессор К.К. Елемесов.

В 2001 г. на кафедре была открыта подготовка специалистов по новой специальности «250640 – Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». Для этого была проведена работа по методическому обеспечению учебного процесса, написан и издан ряд учебно-методических материалов.

Подготовку специалистов осуществлял большой высококвалифицированный коллектив профессорско-пре-

подавательского и инженерного состава, среди которого доктора технических наук, профессора Л.А. Крупник и И.Н. Столповских, кандидаты технических наук, профессора Б.И. Исаков и Р.К. Кудайбергенов, кандидаты технических наук, доценты М.У. Бимбетов, В.К. Вороненко, А.Ю. Граф, А.К. Кожакан, А.С. Мазей, Т.Б. Омаров, О.И. Самотоева, А.В. Ульянов, кандидаты технических наук, старшие преподаватели Ю.И. Ефремова, Э. Омирзакова, магистр техники и технологии М.К. Молдагожина, старшие преподаватели Н.П. Агапова, Б.А. Жомартов, Л.Н. Маркова, преподаватели Р.С. Абдыкалыкова, Г.Ж. Анкишова, А.К. Кожаканов, Е.А. Ельжанов, М.Н. Мендекен, зав. лабораторией Е.А. Оразов, инженер Д.Е. Сарсеева, Г. Исмаилова.

Из сотрудников кафедры стали докторами технических наук 12 человек, кафедра подготовила 30 кандидатов технических наук и 12 докторов философии PhD.

Можно назвать фамилии тех, кто добился наибольших карьерных результатов, это: А.Т. Шакинов, доктор философии PhD, Генеральный директор ТОО «Борусан Макина Казахстан»; С.Ю. Оспищев, исполнительный директор ТОО «Амперэль», Генеральный директор ТОО «Mining Supply CIS»; А.Г. Бузмаков, начальник золотообогатительной фабрики, Республика Эквадор; Г.Б. Исаков, Технический директор фирмы «Wabtec corporation».



\*\*\*

Исторический путь становления кафедры «**Металлургия и обогащение полезных ископаемых**» начинается с 1939 года – года организации на металлургическом факультете КазГМИ выпускающих кафедр: «Металлургия тяжелых цветных металлов» (МТЦМ), «Электрометаллургия цветных металлов и физическая химия» (в 1950 г. преобразованная и получившая название «Металлургия легких и редких металлов»), «Металлургия благородных металлов и обогащение полезных ископаемых».

В начале 40-х годов, в годы войны и после ее окончания на выпускающих кафедрах металлургического профиля сформировалось ядро талантливых ученых-педагогов и исследователей: академики АН КазССР А.Л. Цефт, В.Д. Пономарев; член-корреспонденты АН КазССР Х.К. Аветисян, В.В. Стендер.

В те же годы работали выдающиеся ученые С.А. Карамуллин, И.А. Онаев, Г.М. Есиркегенов, В.С. Спитченко, Ж.С. Садыков, Е.С. Бугенов.

На кафедре МТЦМ работали доценты, канд. техн. наук: Б.Ж. Абылгазин, А.А. Кужамкулов, Б.С. Баимбетов, В.И. Шабалин, Т.А. Сламов, Н.К. Досмухамедов, Б.Х. Сагадиев; ст. преподаватель – Г.А. Плахин; научные сотрудники, канд. техн. наук: М.Д. Калашников, Е. Сламов, К.Д. Айтенов, Р.Я. Арчаков, С.Н. Щенев; химик-аналитик – В.А. Сергеева.

На кафедре МЛиРМ работали доценты, канд. техн. наук: О.В. Федулов, И.З. Слуцкий, Х.Н. Нурмагамбетов, Ж.С. Садыков, С.С. Еденбаев, Т.Е. Худайбергенов, К.З. Куанышева, С.А. Щербан; ст. преподаватель – Г.П. Горобец.

Большой вклад в развитие кафедры и подготовку высококвалифицированных специалистов в области обогащения полезных ископаемых внесли доктор технических наук И.Д. Райвич, канд. техн. наук Б.И. Ревашвили, В.И. Авдюков, Ю.Г. Сажин, К.Т. Кошербаев, Ж.У. Досумов, Ш.А. Телков, М.Р. Шаутонов, Л.И. Безгинова, Т.Н. Заичева и другие сотрудники кафедры.

С 2017 года по настоящее время кафедру «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» возглавляет канд. техн. наук, ассоциированный профессор М.Б. Барменшинова.

Особой гордостью и достижением кафедры МиОПИ (правопреемница кафедр МЦМ и МБМиОПИ) являются выпускники, среди которых есть видные ученые и руководители предприятий горно-металлургической отрасли, министры, ректора и различные деятели Республики Казахстан. За выдающиеся заслуги в области науки и техники 19-ти выпускникам присуждены Госпремии СССР и 9-ти – Госпремии КазССР. Видные ученые-металлурги, академики НАН РК: Е.А. Букетов, Р.А. Исакова, Л.П. Ни, Н.С. Бектурганов; член-корреспонденты НАН РК: И.А. Онаев, Б.Б. Бейсембаев, Н.А. Байтенов, И.Р. Полявинный.

Многие выпускники занимали крупные руководящие посты на ведущих предприятиях горно-металлургической отрасли Казахстана: директор УКСЦК, кавалер двух орденов Трудового Красного Знамени, Халық Қаһарманы А.С. Куленов; директор УКТМК, лауреат Государственной премии СССР, кавалер орденов Трудового Красного Знамени М.К. Байбеков; президент АО «Промышленная корпорация Южнополиметалл» Т.К. Асамбаев; президент АО «УКТМК», лауреат Государственной премии КазССР, кавалер ордена «Знак Почета», «Отан» Б.М. Шаяхметов; директор УКСЦК Н.С. Касенов; директор Жезказганского медеплавильного завода, д.т.н., кавалер ордена «Құрмет» К.Д. Телешев и др.

В настоящее время гордостью кафедры являются выпускники: Директор Департамента развития комплексных технологий и планирования инвестиций ТОО «Корпорация Казахмыс» Е.А. Оспанов, Главный обогатитель ТОО «KAZ Minerals» У.К. Джетыбаева, Генеральный директор ТОО «Кызылжум» АО «НАК «Казатомпром» Б.А. Айдуисенов, Директор департамента по развитию перспективных месторождений ТОО «Корпорация Казахмыс» А.К. Аринов и др.

У кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» имеется тесная связь с производством. Открыт филиал кафедры на предприятии ТОО «КазФерроСталь», где на постоянной основе организовано дуальное обучение и практика студентов.

Кафедрой «МиОПИ» второй год реализуется (double degree) дудипломная магистерская программа в сетевой форме совместно с ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».



\*\*\*

История кафедры «*Металлургические процессы, теплотехника и технологии специальных материалов*» (МПТиТСМ) берет свое начало с 1938 года в Алма-Ате в Казахском горно-металлургическом институте, на базе кафедры «Общая металлургия» для подготовки инженеров-металлургов. Первым заведующим кафедры был доцент, кандидат технических наук С.Н. Барабошкин.

В организации первых металлургических лабораторий и занятий принимали участие такие выдающиеся ученые, как: доктор технических наук, профессор В.С. Сажин (впоследствии – член-корр. АН Украины); доктор технических наук, член-корр. АН КазССР Р.А. Исакова; доктор технических наук, академик АН КазССР А.Л. Цефт; доктор технических наук Ю.М. Путилин (впоследствии директор института минерального сырья в Казахстане и института искусственных минералов в России); профессор А.А. Буллах, доктора технических наук, профессора К.В. Сушков, Л.Г. Романов. Свой неоценимый вклад в развитие и становление кафедры внес профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой, проректор КазПИ В.А. Луганов, основатель научной школы теории металлургических процессов и переработки пиритного, золотомышьякового сырья.

Большой вклад в становление учебного процесса внесли ученые, преподаватели: профессор, доктор технических наук, заведующая кафедрой МПТиТСМ с 1997-2000 гг., основатель научной школы рафинирования и

очистки металлов, экстракционных процессов – А.О. Байконурова; доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой 2001-2003 гг. – О.В. Василевский; доктор технических наук, профессор Е.А. Тастанов; профессор А.Д. Джантореев; доценты Г.Я. Мозговых; А.А. Абжаппаров; Т.К. Ишанов; М.Е. Туркеев; Ю.А. Никифоров; Е.Н. Сажин; Г.И. Едильбаева; Г.Д. Гусейнова; Г.А. Усольцева; К.К. Мамырбаева; М.О. Утегенов; С.Б. Баймаханова, ст. преподаватель С.С. Кобыратбекова.

За многие годы существования кафедры научные разработки внедрялись на Балхашском медеплавильном комбинате, Ревдинском металлургическом заводе (Россия), Усть-Каменогорском цинковом заводе, на Шымкентском свинцовом заводе. Кафедра осуществляла международные проекты по обезвреживанию мышьяк содержащих отходов по грантам МНТЦ и Евросоюза.

В настоящее время кафедру возглавляет профессор, PhD, кандидат технических наук, Т.А. Чепуштанова, возглавляющая научную школу переработки пиритного сырья.

С 2010 года образовательные программы бакалавриата и магистратуры имеют международную аккредитацию агентств: АВЕТ (США) 2010-2017 гг., ASIIN (Германия) 2017-2024 гг., 2024-2029 гг.; образовательные программы докторантуры аккредитованы агентствами НААР, НАОКО.

На сегодняшний день кафедра имеет рекордное количество научно-исследовательских проектов грантового финансирования и программно-целевого финансирования в области переработки ванадиевого сырья, экстракции меди, получения ниобия, переработки свинцово-цинкового сырья, получения высокочистого микродисперсного оксида кремния, переработки никель-кобальтсодержащих руд совместно с такими предприятиями как: KazMinerals PLC, НАК Казатомпром, ТОО «Казцинк», Корпорация Казхмыс, ТОО «Фирма Балауса» и многими другими. На данный момент впервые на кафедре выполняются постдокторские научно-исследовательские проекты по программе Жас Ғалым.

К 90-летию Satbayev University на кафедре «МПТИТСМ» будет открыта научно-исследовательская лаборатория «Металлургические процессы, теплотехника и порошковая металлургия», создаваемая в рамках инжинирингового центра.

Кафедра имеет тесные международные связи по выполнению проектов, подготовки кадров, а также реализации академической мобильности и международной стажировки магистрантов и докторантов: Московский институт стали и сплавов, Россия; Politecnico di Milano – Италия; Universitat de les Illes Balears – Испания; Silesian University of Technology – Польша; Universiti Teknologi Malaysia – Куала Лумпур, Малайзия; Горная школа Колорадо (США); Вустерский политехнический институт – США, Вустер; Университет Мердок – Австралия; FIRAT UNIVERSITY – Турция; МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва; Süleyman Demirel University, Испарта, Турция; ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» – Екатеринбург, Россия.



\* \* \*

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология» образована в 2020 году в результате структурной реорганизации университета и является правопреемницей таких кафедр как: «Химия», «Прикладная экология» и «Химическая технология неорганических веществ», внесших огромный вклад для страны в деле подготовки первых кадров технических направлений и имеющих богатейшую историю своего развития.

Кафедра химии была организована в 1934 году. У истоков становления кафедры стояли выдающиеся ученые СССР и Казахстана, которые в разные годы возглавляли кафедру: кандидат химических наук, доцент Н.И. Бутов; доктор технических наук, профессор, академик АН КазССР В.Д. Пономарев; кандидат химических наук, доцент А.И. Преображенский.

В 1964 году на базе кафедры химии были организованы кафедра общей химии и кафедра физической и аналитической химии. Кафедру общей химии возглавляли кандидат технических наук, доцент Т.О. Салибаев (1964-1974 гг.), доктор химических наук, профессор У.М. Маканов (1974-2000 гг.).

Кафедру физической и аналитической химии возглавляли: кандидат технических наук, доцент В.П. Космачев; доктор химических наук, профессор Н.Г. Бабкин; доктор химических наук, профессор, академик АН КазССР Е.М. Шайхутдинов; кандидат химических наук, доцент Ш.Б. Шалабаев; доктор химических наук, профессор М.Е. Ермаганбетов; кандидат химических наук, профессор С.Х. Хусаин.

В 2000 году эти кафедры вновь были объединены в одну кафедру химии. В разные годы заведующими кафедрой были доктор химических наук, профессор У.М. Маканов; доктор химических наук, профессор Г.Т. Балакаева; кандидат химических наук, доцент А.С. Каленова. В разные годы плодотворно трудились такие преподаватели как: к.х.н., профессор К.А. Аханбаев; к.х.н., доценты А.Ф. Омарова, Осадчая Э.Ф., Д.Б. Мамбеева, Р.Е. Кузнецова, А.Х. Исакова, Р.Ф. Мухамедова и др.

История создания кафедры «Прикладная экология» была связана с созданием в 1993 году кафедры охраны труда и окружающей среды, которая входила в состав горного факультета и где проводилась подготовка кадров по

специальности «1703 – Прикладная экология». Первый выпуск инженеров-экологов по данной специальности состоялся в 1998 году.

В разные годы кафедру возглавляли: президент Казахской Академии прикладной экологии, безопасности жизнедеятельности и устойчивого развития, доктор технических наук, профессор С.С. Нуркеев; доктор технических наук, профессор М.Т. Ошакбаев; доктор PhD, доцент Ю.М. Де.

В становление экологического образования в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева внесли весомый вклад ученые С.С. Нуркеев, Р.А. Казова, И.З. Лапшина, У.Ш. Мусина, Х.Х. Тургумбаева; преподаватели Г.Р. Ахмедова, Б.Е. Сариев, З.К. Лойко, А. Назмутдинова, Е. Бабина, Г.Р. Ахмедова, С.О. Сарсенбаев и др., благодаря которым для всех специальностей КазНТУ была введена дисциплина «Промышленная экология».

История создания кафедры «Химические процессы и промышленная экология» связана с развитием производства соединений природного урана как компонента топлива для атомных электростанций. Развитие уранового производства требовало квалифицированных специалистов, для подготовки которых в 1994 году в КазНТУ им. К.И. Сатпаева была открыта кафедра ядерно-химической технологии и взрывчатых веществ. Первым заведующим кафедры стал профессор, доктор технических наук Е.С. Бугенов; затем в разные годы: д.т.н., профессор Ж.А. Алыбаев; к.т.н., доценты И.Ф. Мазалов, Н.М. Жунубекова.

С 2020 года по настоящее время кафедру «Химические процессы и промышленная экология» возглавляет член-корреспондент НАГН РК, кандидат технических наук, доцент Ш.Н. Кубекова.

Известные наши выпускники: Утетилеуов Рауан – заместитель генерального директора АО «СП «Акбастау»; Шагамбаев Думан – технический директор ТОО «Прогрессказинжиниринг»; Сактаганов Марат – Руководитель отдела лабораторно-аналитического контроля РГУ «Департамент экологии по городу Алматы Комитета экологического регулирования и контроля Министерства энергетики РК»; Тазабеков Асет – Директор ТОО «Ренессанс плюс», Директор Представительства Казахской Палаты Экологических аудиторов г. Алматы и Алматинской области.

Кафедрой налажено сотрудничество и заключены меморандумы с различными предприятиями, где студенты, магистранты и докторанты имеют возможность повышать свои профессиональные навыки и компетенции, проходя практику, дуальное обучение, академическую мобильность, дублированные программы и научные стажировки: ТОО «Казфосфат», ТОО «КазХМЫС», НАК «КазАтомпром», НИИ «Экология», ТОО «Industrial Construction group», ТОО «Казахстанское агентство прикладной экологии», ТОО «KAZ Minerals», НИИ «Казэкология», ТОО «Шин-лайн», Томский политехнический Университет, университет имени Адама Мицкевича (г. Познань, Республика Польша), Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, University Sains Malaysia (г. Пенанг, Малайзия) и т.д.

В настоящее время в состав кафедры ХПИПЭ входят 5 докторов наук, 5 докторов PhD, 1 доктор DBI, 8 кандидатов наук, 6 магистров наук.

На базе кафедры созданы Лаборатория химико-аналитических исследований, Лаборатория экологического мониторинга.



\*\*\*

Кафедра «*Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика*» (МНИИФ). Исторический путь становления кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика» начинается с кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов», которая была основана в 1968 году. У истоков организации кафедры стоял ряд ученых и производственников во главе с академиком НАН РК – А.К. Омаровым, первым ученым-казахом, получившим степень доктора технических наук в области металловедения.

Кафедрой долгие годы руководил доктор технических наук, профессор Д.У. Смагулов. В настоящее время кафедрой руководит доктор PhD, К.К. Кудайбергенов.

Среди первых педагогов, принявших активное участие в обеспечении учебного процесса, создании учебных лабораторий и научных подразделений, были К.С. Сапаров, У.К. Дуйсемалиев, Ш.Б. Бектурсунов, Р.С. Шарипкулов, К.К. Оспанова, Н.А. Кожамбердин, Н.А. Баимбетов, К.У. Туркбенбаев, Б.К. Уразбаев, Э.В. Кулманен, Д.Г. Максимова, В.И. Рубцов, Д.У. Смагулов и др.

Кафедра готовит инженеров по специальностям: в бакалавриате – ОП 6B07109/6B07207 – «Инженерная физика и материаловедение», в магистратуре – ОП 7M07103 – «Материаловедение и технология новых материалов», ОП 7M0301 – «Прикладная и инженерная физика», в докторантуре – ОП 8D07103 – «Материаловедение и технология новых материалов», ОП 8D05301 – «Прикладная и инженерная физика», ОП 8D07114 – «Наноматериалы и нанотехнологии». На сегодняшний день подписаны Договора в рамках дублированной образовательной программы по магистратуре.

Научным направлением кафедры МНИИФ является широкий спектр исследований, связанных с разработкой, анализом и применением новых материалов и технологий. Синтез и исследование наноструктурированных материа-

лов, разработка новых методик тонкопленочных технологий и нанофотоники, исследование механических свойств материалов, в том числе при экстремальных температурах и нагрузках, моделирование процессов роста и обработки материалов. Эти направления позволяют кафедре участвовать в решении актуальных задач современной науки и техники, работая на стыке различных дисциплин и применяя передовые технологии. На кафедре выполняются фундаментальные исследования по грантам Министерства науки и Высшего образования РК.

Кафедра имеет творческие связи с именитыми учеными и научно-исследовательскими институтами стран ближнего и дальнего зарубежья. Кафедра была включена в Международный Европейский проект HORIZON 2020, Research and Innovation Staff Exchange (RISE) H2020-MSCA-RISE-2018, No.823942 – «Development and design of novel multiFUNctional PEO COATings (FUNCOAT)», согласно которой магистранты и докторанты имеют возможность выполнять свои научные работы и публикации в передовых Европейских научных центрах.

Имеется рамочное соглашение с ТОО «Физико-Технический институт» на проведение научно-исследовательских работ и всех видов практики для студентов.



межрегиональная специализированная выставка

# САХАПРОМЭКСПО



23 – 24 октября 2024 г. ЯКУТСК

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

Организаторы:



Выставочная компания  
Сибэкспосервис  
г. Новосибирск



Выставочная компания  
СахаЭкспоСервис  
г. Якутск

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

Код МРНТИ 52.13.25

\*С.К. Молдабаев<sup>1</sup>, Д.В. Бабец<sup>2</sup>, К.Б. Рысбеков<sup>1</sup>, А.Н. Нурманова<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),  
<sup>2</sup>НТУ «Днепропетровская политехника» (г. Днепр, Украина)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В ДОННОЙ ЧАСТИ КАРЬЕРОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Аннотация.** В статье исследуется влияние тектонических нарушений на устойчивость донной части карьеров и безопасность извлечения запасов месторождения. Рассматриваются методы численного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния породного массива в условиях наличия геологических нарушений. Основное внимание уделяется моделированию разломов и трещин, их влиянию на структуру и механическое поведение горных пород, а также разработке прогностических моделей с использованием программного обеспечения RS2 и RS3 от компании Rocscience. В статье представлены результаты моделирования, демонстрирующие снижение коэффициента запаса устойчивости борта карьера при наличии тектонического нарушения, и предложены рекомендации по совершенствованию методики учета геологических данных и параметров моделирования.

**Ключевые слова:** численное моделирование, метод конечных элементов, открытая разработка, геологическое нарушение, напряженно-деформированное состояние, коэффициент запаса устойчивости, прогноз устойчивости.

### Карьерлердің төменгі бөлігіндегі тектоникалық бұзылулардың кен орындарын өндіру қауіпсіздігіне әсерін бағалау

**Аңдатпа.** Мақалада тектоникалық бұзылулардың карьерлер түбінің тұрақтылығына және кен орындары қорларын өндіру қауіпсіздігіне әсері қарастырылған. Сандық модельдеу әдістері геологиялық бұзылулар болған кезде тау массасының кернеулі-деформациялық күйін бағалау үшін қарастырылады. Бұзылулар мен жарықшақтарды модельдеуге, олардың тау жыныстарының құрылымы мен механикалық сипаттамалық әсеріне және Rocscience фирмасының RS2 және RS3 бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалана отырып болжамды модельдерін жасауға басты назар аударылады. Мақалада тектоникалық бұзылыс кезінде карьер жағының тұрақтылық коэффициентінің төмендеуін көрсететін модельдеу нәтижелері берілген және геологиялық мәліметтер мен модельдеу параметрлерін есепке алу әдістемесін жетілдіру бойынша ұсыныстар берілген.

**Түйінді сөздер:** сандық модельдеу, шекті элементтер әдісі, ашық әдіспен өндіру, геологиялық бұзылу, кернеу-деформациялық күй, орнықтылық қауіпсіздік коэффициенті, тұрақтылық болжамы.

### Assessment of the impact of tectonic disturbances in quarry floors on the safety of resource extraction

**Abstract.** The article investigates the impact of tectonic disruptions on the stability of open pit floor and the safety of resource extraction. Numerical modeling methods are examined to assess the stress-strain state of the rock mass in the presence of geological disturbances. The focus is on simulating faults and fractures, their influence on the structure and mechanical behavior of rock formations, and the development of predictive models using RS2 and RS3 software by Rocscience. The article presents modeling results that demonstrate a decrease in the stability factor of the quarry slope in the presence of tectonic disturbances and offers recommendations for improving the methodology for incorporating geological data and modeling parameters.

**Key words:** numerical modeling, finite element method, open pit mining, geological disturbance, stress-strain state, stability factor, stability prediction.

### Введение

Минеральные ресурсы являются основой выживания и развития человечества. С непрерывным развитием отрасли добывается все больше и больше полезных ископаемых, среди которых значительная доля приходится на добычу металлов открытым способом [1]. Добыча открытым способом стала тенденцией развития горной отрасли в мире. Однако, с увеличением глубины разработки и возрастанием угла откоса бортов карьеров, усложнилась задача обеспечения устойчивости бортов, а, следовательно, и безопасности труда рабочих. Особо остро проблема устойчивого состояния крутонаклонных откосов в открытых горных выработках проявляется при наличии в донной части глубокого карьера геологических нарушений, формирование которых связано с тектоническими процессами в горном массиве.

Тектонические нарушения в массиве горных пород могут проявляться в виде разломов, трещин, складок и других деформаций в породах. Влияние этих нарушений на устойчивость горных выработок может быть следующим:

- тектонические разломы и трещины могут ослаблять структуру горных пород, делая их более подверженными обрушениям. Они могут стать путями для перемещения воды, что может увеличить вероятность образования скальных обвалов;

- тектонические нарушения могут приводить к образованию складок в горных породах и это также может

изменить напряженно-деформированное состояние пород, что влияет на их устойчивость и способность сопротивляться деформации.

- там, где тектонические нарушения активны, может быть повышенный уровень сейсмической активности. Это увеличивает риск возникновения сильных землетрясений, что может негативно повлиять на устойчивость горных выработок и способность их поддерживать безопасные условия для работы.

Наиболее безопасным и эффективным методом прогностической оценки влияния нарушений на устойчивость бортов является математическое (численное) моделирование. Результаты моделирования нарушений являются основой для принятия технических решений, они играют важную роль в проектировании и планировании горных работ, так как это помогает предсказать возможные риски и разработать меры для их снижения.

### Методы исследования

Математическое моделирование тектонических нарушений следует начинать с изучения геологических данных. Оценка и анализ геологических данных, включая данные о структуре горных пород, разломах, трещинах, складках и других тектонических нарушениях, позволяет понять, какие именно нарушения присутствуют в районе исследования.

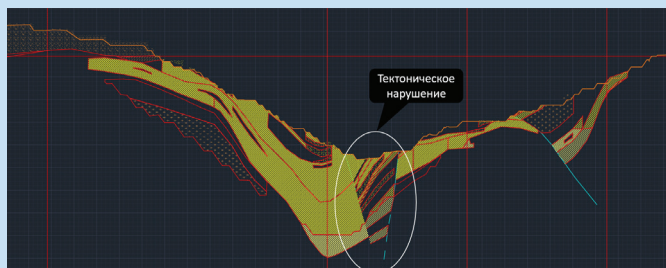
Далее возможны два подхода к моделированию:

1. Учет геологических нарушений путем введения различных коэффициентов, снижающих прочность породного массива, например, коэффициент структурного ослабления [2, 3] или использование Геологического индекса прочности (GSI) совместно с эмпирическим критерием прочности Хока-Брауна [4].

2. Создание имитационной геологической модели. На основе геологических данных строят геологическую модель, отображающую структуру горных пород и тектонические нарушения в них [5-8]. После чего модель интегрируется в численные, например, конечно-элементные модели с использованием программного обеспечения для численного моделирования, которое позволяет учитывать различные типы нарушений и их влияние на механическое поведение горных пород. Таким программным обеспечением является RS3 компании Rocscience. При этом важно учесть влияние тектонических нарушений на граничные условия модели. Например, перераспределение напряжений, возникающих из-за нарушений, могут существенно влиять на поведение горных пород. После построения модели необходимо провести ее валидацию на основе имеющихся наблюдений и данных о реальных условиях горных выработок. Это позволяет убедиться в точности моделирования и корректности учета нарушений.

#### Учет тектонических нарушений при геомеханическом моделировании

В качестве примера приведена цифровая геологическая модель сложно-структурного грунтово-породного массива, включающего глубокую открытую (540 м) выработку. В донной части карьера имеется разрывное нарушение, обнаруженное на стадии разведки месторождения. Цифровая геологическая модель создана в программе SURPAC, а затем через файлы AutoCad интегрирована в расчетный модуль RS2 от компании Rocscience для конечно-элементного анализа, позволяющего симулировать различные типы нарушений и их влияние на механическое поведение горных пород.

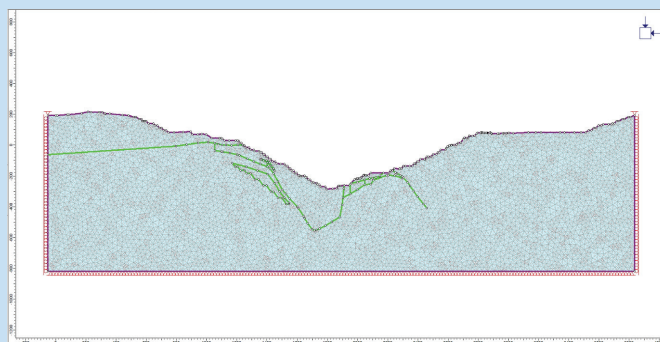


**Рис. 1. Цифровая модель карьера массива горных пород в окрестности открытой горной выработки.**

**Сурет 1. Ашық тау кен өндірісінің маңындағы тау жыныстары массивінің сандық моделі.**

**Figure 1. Digital model of the rock mass quarry in the vicinity of an open pit mine.**

Для чистоты вычислительного эксперимента (исключения влияния слоистости) на первом этапе моделирования рассмотрена однородная модель (без нарушения) с усредненными реальными физико-механическими свойствами породных слоев (рис. 2).

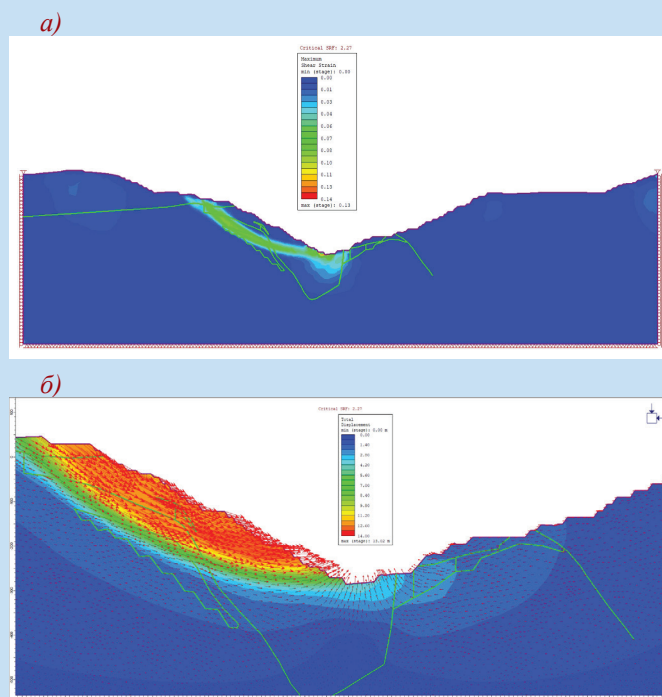


**Рис. 2. Конечно-элементная сетка и расчетная схема для анализа однородной модели.**

**Сурет 2. Ақырлы элементтер торы және біртекті модельді талдау үшін есептеу сұлбасы.**

**Figure 2. Finite element mesh and computational scheme for analyzing a homogeneous model.**

Результаты конечно-элементного моделирования на основе процедуры пошагового снижения прочности (SSR) с использованием прочностной модели Кулона-Мора приведены на рис. 3, где показана зона наибольших сдвигающих деформаций, определяющих потенциальную поверхность скольжения (левый борт выработки). Коэффициент запаса устойчивости (КЗУ) при этом равен 2,27. Эти данные хорошо коррелируют с результатами, полученными в работах [9, 10].



*а – максимальные сдвиговые деформации; б – максимальные общие смещения с указанием направления потенциальных смещений*

**Рис. 3. Результаты конечно-элементного моделирования.**

**Сурет 3. Ақырлы элементтік модельдеу нәтижелері.**

**Figure 3. Results of finite element modeling.**



Для моделирования тектонического нарушения воспользуемся инструментом Structural Interface из программного комплекса RS2, который позволяет моделировать контакт между элементами с учетом структуры разлома и допускающий скольжение между границами разлома и основным массивом (рис. 4) Как известно, тектонические нарушения сопровождаются повышенной оперяющей трещиноватостью, которая моделируется инструментом Joint Network (система трещин). Берега разлома характеризуются раскрытостью, типом наполнителя, шероховатостью, что при моделировании с помощью инструмента Structural Interface оценивается двумя параметрами: нормальной и сдвиговой жесткостью трещины.

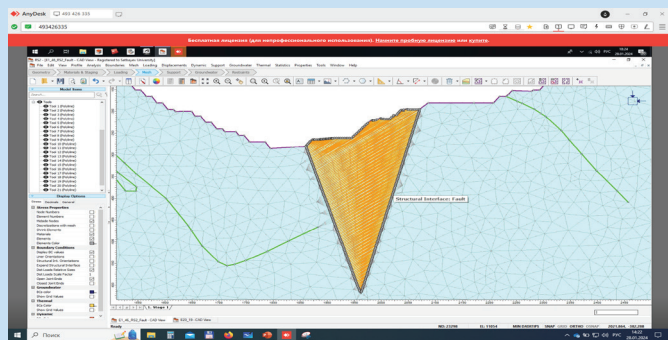


Рис. 4. Расчетная схема для моделирования тектонического нарушения.

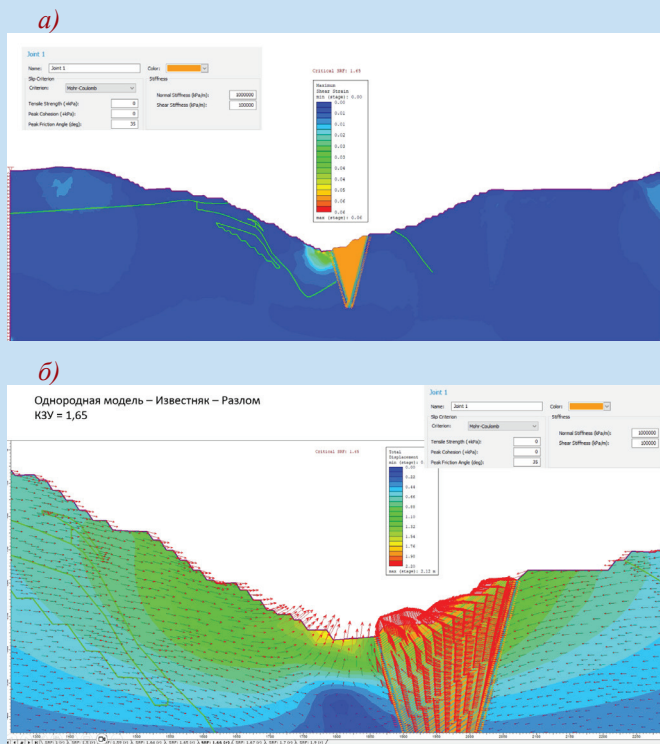
Сурет 4. Тектоникалық бұзылысты модельдеуге арналған есептеу сұлбасы.

Figure 4. Calculation scheme for modeling of tectonic disturbance.

Включение в модель тектонического нарушения при значениях нормальной жесткости  $kn = 1\,000\,000$  КПа/м, а сдвиговой жесткости  $ks = 100\,000$  КПа/м привело к тому, что максимальные сдвиговые деформации локализуются в зоне выхода тектонического нарушения на поверхность (рис. 5), а также к снижению КЗУ до уровня 1,65.

**3D моделирование тектонических нарушений с использованием программного комплекса RS3**

Целью 3D моделирования является анализ состояния прибортового массива по всему контуру карьера, в том числе с учетом тектонических нарушений. Методика моделирования предполагает, что имеются цифровые контуры карьера (файлы AutoCad), которые легко имплементируются в расчетный модуль программы конечно-элементного анализа RS3 от компании Rocscience. Для непосредственного моделирования тектонического разлома в конечно-элементную модель добавлена плоскость, которая совпадает с простираем разлома (рис. 6). Для создания соответствующего объема, который будет заполнен системой трещин, выполняем операцию «Выдавить» (Extrude) с параметром  $w = 30$  м для плоскости, добавленной в геометрию модели (рис. 6-б). Параметр  $w$  определяется в соответствии с данными геологии о реальной ширине зоны разлома.

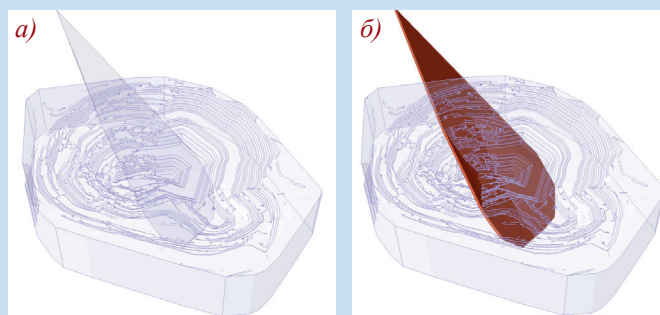


а – максимальные сдвиговые деформации; б – максимальные общие смещения с указанием направления потенциальных смещений

Рис. 5. Результаты конечно-элементного моделирования тектонического разлома.

Сурет 5. Тектоникалық жарылысты соңғы элементтерді модельдеу нәтижелері.

Figure 5. Results of finite element modeling of a tectonic fault.



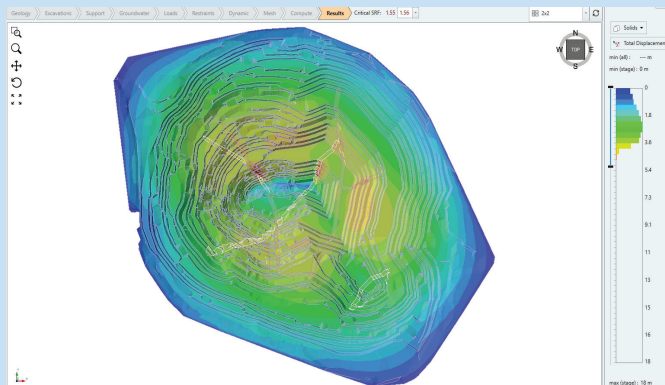
а – добавление в модель плоскости разлома; б – «выдавливание» плоскости на ширину 30 м для получения зоны оперяющей трещиноватости

Рис. 6. Создание объема для заполнения системой трещин.

Сурет 6. Жарықтар жүйесімен толтыру үшін көлем құру.

Figure 6. Creating volume to fill cracks in the system.

Моделирование объема, заполненного трещиноватой дезинтегрированной горной массой, привело к росту потенциальных перемещений бортов по всему периметру (рис. 7).



**Рис. 7. Перемещения пород, слагающих борта карьера, при наличии тектонического разлома в донной части карьера.**

**Сурет 7. Карьердің төменгі бөлігінде тектоникалық бұзылыс болған кездегі карьердің қабырғаларын құрайтын тау жыныстарының қозғалысы.**

**Figure 7. Displacements of rocks composing the quarry sides in the presence of a tectonic fault in the bottom part of the quarry.**

Наличие тектонического нарушения привело к снижению КЗУ борта по всему периметру карьера до значения 1,56, то есть на 29,4%.

### Результаты

1. Разработана методика имитационного моделирования влияния тектонических нарушений на напряженно-деформированное состояние породного массива. Технически при реализации моделирования используются инструменты *Structural Interface* и *Joint Network*, которые

позволяют моделировать контакт между элементами с учетом структуры разлома и допускающий скольжение между границами разлома и основным массивом.

2. Наличие тектонического нарушения в структуре породного массива привело к снижению коэффициента запаса устойчивости на 29,4% для параметров жесткости моделируемых контактов:  $k_n = 1\ 000\ 000$  КПа/м,  $k_s = 100\ 000$  КПа/м.

### Выводы

Учет характеристик геологических нарушений, таких как раскрытость, тип наполнителя контакта, шероховатость является сложной задачей геомеханики и на данном этапе осуществляется за счет подбора нормальной и сдвиговой жесткости контакта, моделирующего взаимодействие трещины-разлома и основного массива. Алгоритм подбора параметров контакта следует совершенствовать, принимая во внимание данные маркшейдерских наблюдений за состоянием разлома при выходе его на поверхность.

Важным элементом моделирования является выбор теории разрушения и критерия прочности. Несмотря на то, что авторы использовали критерий прочности Кулона-Мора, методика моделирования может включать проверку устойчивости борта с привлечением других критериев, в частности Хока-Брауна. Кроме того, калибровка модели за счет вариации таких прочностных параметров как сцепление и угол внутреннего трения, позволит повысить достоверность расчетов.

*Работа выполнена по мегагранту программно-целевого финансирования №BR21881939 «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инженерингового центра».*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аль Хейб М. Анализ влияния разломов на устойчивость открытых участков добычи бурого угля с помощью метода отдельных элементов. / Аль Хейб М., И.Е. Зевголис, А.И. Теохарис. *Инженерная геотехника и геология*. 2022. С. 1307-1321 (на английском языке)
2. Бабец Д. Оценка прочности массива горных пород с использованием структурного фактора на основе статистической теории прочности. // *Явления твердого тела*. 2018. Вып. 277. С. 111-122 (на английском языке)
3. Бабец Д. Реализация вероятностного подхода к оценке прочности горной массы при проходке разломных зон. / Бабец Д., Сдвижкова О., Шашенко О., Кравченко К., Кабана Е.К. // *Разработка месторождений полезных ископаемых*. 2019. Т. 13 (4). С. 72-83 (на английском языке)
4. Эберхардт Э. Критерий разрушения Хока-Брауна. // *Механика горных пород и горное дело*. 2012. Т. 45 (6). С. 981-988 (на английском языке)
5. Чжао С. Трехмерное конечно-элементное моделирование деформаций и напряжений, связанных с разломами: влияние неоднородных структур коры. / С. Чжао, Р.Д. Мюллер, Й. Такахаши, Й. Канада. // *Geophysical Journal International*. 2004. Т. 157(2). С. 629-644 (на английском языке)
6. Чжэн Ю. Анализ устойчивости склона карьера, содержащего разлом, с использованием UDEC. / Ю. Чжэн, К. Чен, Х. Чжу, Х. Лю, Г. Чен. // *Прикладная механика и материалы*. 2013. № 444-445. С. 1204-1210. (на английском языке)
7. Ли Ю. Трехмерный анализ устойчивости сложных горных склонов, подверженных влиянию разлома и слабого слоя, основанный на FESRM. / Ли Ю., Ю Л., Сонг У., Янг Т. // *Достижения в области гражданского строительства*. 2019. С. 1-14. (на английском языке)
8. Цао Х. Многофакторный анализ устойчивости высоких откосов в открытых горных выработках. / Х. Цао., Г. Ма, П. Лю, Х. Цинь, К. Ву, Дж. Лу. // *Прикладные науки*. 2023. № 13(10). С. 5940. (на английском языке)

9. Молдабаев С.К. Численное моделирование устойчивости карьера на основе вероятностного подхода. / С.К. Молдабаев, О.О. Сдвижкова, Д.В. Бабец, О.С. Ковров, Т.К. Адиль. // Научный вестник Национального хирничого університету. 2021. Т. 6. С. 29-34. (на английском языке)
10. Сдвижкова О. Вероятностная оценка устойчивости откосов при разработке руд с крутыми пластами в глубоких карьерах. / О. Сдвижкова, С. Молдабаев, А. Басцетин, Д. Бабец, Е. Кульдеев, Ж. Султанбекова, М. Аманкулов, Б. Исаков. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2022. Т. 16 (4). С. 11-18 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Аль Хейб М. Ашық қоңыр көмір өндіру орындарының тұрақтылығына ақаулардың әсерін жеке элемент әдісімен талдау. / Аль Хейб М., И.Е. Зевголис, А.И. Теохарис. // Геотехникалық инженерия және геология. 2022. Б. 1307-1321. (ағылшын тілінде)
2. Бабец Д. Беріктіліктің статистикалық теориясына негізделген құрылымдық факторды пайдалана отырып, тау массасының беріктігін бағалау. // Қатты заттардың құбылыстары. 2018. Т. 277. Б. 111-122 (ағылшын тілінде)
3. Бабец Д. Жарық аймақтарын қазу кезінде тау-кен массасының беріктігін бағалаудың ықтималдық тәсілін жүзеге асыру. / Д. Бабец, О. Сдвижкова, О. Шашенко, К. Кравченко, Е.К. Кабана. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2019. Т. 13 (4). Б. 72-83 (ағылшын тілінде)
4. Эберхардт Э. Хок-Браунның бұзылу критеріі. // Тау механикасы және тау-кен ісі, 2012. Т. 45 (6). Б. 981-988 (ағылшын тілінде)
5. Чжао С. Үш өлшемді ақырлы элементтердің бұзылулармен байланысты деформациялар мен кернеулерді модельдеу: гетерогенді жер қыртысының құрылымдарының әсері. / С. Чжао, Р.Д. Мюллер, Ю. Такахаши, Ю. Канада. // Geophysical Journal International. 2004. Т. 157 (2). Б. 629-644 (ағылшын тілінде)
6. Чжэн Ю. UDEC көмегімен бұзылған карьер еңісінің орнықтылығын талдау. / Чжэн Ю., Чен К., Чжу Х., Лю Х., Чен Г. // Қолданбалы механика және материалдар. 2013. № 444-445. Б. 1204-1210. (ағылшын тілінде)
7. Ли Ю. FESRM негізіндегі тау беткейлеріне әсер еткен күрделі бұзылыстар мен әлсіз қабаттардың тұрақтылығын 3D талдауы. / Ли Ю., Ю Л., Сон В., Янг Т. // Азаматтық құрылыс жетістіктері. 2019. Б. 1-14 (ағылшын тілінде)
8. Цао Х. Ашық тау-кен қазбаларындағы биік беткейлердің тұрақтылығын көп факторлы талдау. / Х. Цао, Г. Ма, П. Лю, Х. Цин, К. Ву, Дж. Лу. // Қолданбалы ғылымдар. 2023. № 13(10). Б. 5940. (ағылшын тілінде)
9. Молдабаев С.Қ. Ықтималдық тәсілге негізделген карьер тұрақтылығын сандық модельдеу. / Молдабаев С.Қ., Сдвижкова О.О., Бабец Д.В., Ковров О.С., Әділ Т.Қ. // Ұлттық химия университетінің ғылыми хабаршысы. 2021. Т. 6. Б. 29-34 (ағылшын тілінде)
10. Сдвижкова О. Терең карьерлерде тік қабаттары бар кендерді өндіру кезіндегі еңіс тұрақтылығын ықтималдық бағалау. / О. Сдвижкова, С. Молдабаев, А. Басцетин, Д. Бабец, Е. Көлдеев, Ж. Сұлтанбекова, М. Аманқұлов, Б. Исаков. // Минералды өңдеу депозиттер. 2022. Т. 16 (4). Б. 11-18 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Al Heib M. Analysis of Faults' Effect on the Stability of Surface Lignite Mining Areas Using the Distinct Element Method. / Al Heib M., Zevgolis I.E. , Theocharis A.I. // Geotechnical and Geological Engineering. 2022. P. 1307–1321 (in English)
2. Babets D. Rock Mass Strength Estimation Using Structural Factor Based on Statistical Strength Theory. // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 277. P. 111-122 (in English)
3. Babets D. Implementation of probabilistic approach to rock mass strength estimation while excavating through fault zones. / Babets D., Sdvyzhkova O., Shashenko O., Kravchenko K., Cabana E.C. // Mining of Mineral Deposits. 2019. Vol. 13 (4). P. 72-83 (in English)
4. Eberhardt E. The Hoek-Brown failure criterion. // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2012. Vol. 45 (6). P. 981-988 (in English)
5. Zhao S. 3-D finite-element modelling of deformation and stress associated with faulting: effect of inhomogeneous crustal structures. / Zhao S., Müller R.D., Takahashi Y., Kaneda Y. // Geophysical Journal International. 2004. Vol. 157 (2). P. 629-644 (in English)
6. Zheng Y. Stability Analysis of Open-Pit Slope Containing a Fault Utilizing UDEC. / Zheng Y., Chen C., Zhu X., Liu X., Cheng G. // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 444-445. P. 1204–1210 (in English)

7. *Li Y. Three-Dimensional Analysis of Complex Rock Slope Stability Affected by Fault and Weak Layer Based on FESRM. / Li Y., Yu L., Song W., Yang T. // Advances in Civil Engineering. 2019. P. 1-14 (in English)*
8. *Cao H. Multi-Factor Analysis on the Stability of High Slopes in Open-Pit Mines. / Cao H., Ma G., Liu P., Qin X., Wu C., Lu J. // Applied Sciences. 2023. Vol. 13(10). 5940 (in English)*
9. *Moldabayev S.K. Numerical simulation of the open pit stability based on probabilistic approach. / Moldabayev S.K., Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Kovrov O.S., Adil T.K. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. Vol. 6. P. 29-34 (in English)*
10. *Sdvyzhkova O. Probabilistic assessment of slope stability at ore mining with steep layers in deep open pits. / Sdvyzhkova O., Moldabayev S., Bascetin A., Babets D., Kuldeyev E., Sultanbekova Zh., Amankulov M., Issakov B. // Mining of Mineral Deposits. 2022. Vol. 16 (4). P. 11-18 (in English)*

#### Сведения об авторах:

**Молдабаев С.К.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горное дело», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [s.moldabayev@satbayev.university](mailto:s.moldabayev@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8913-9014>

**Бабец Д.В.**, доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной математики в НТУ «Днепровская политехника» (г. Днепр, Украина), [Babets.d.v@ntu.one](mailto:Babets.d.v@ntu.one); <https://orcid.org/0000-0002-5486-9268>

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

**Нурманова А.Н.**, магистр технических наук, ассистент кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.nurmanova@satbayev.university](mailto:a.nurmanova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-1761-7539>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Молдабаев С.К.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Тау-кен ісі кафедрасының меңгерушісі, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Бабец Д.В.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Днепровск политехникалық» ҰТУ қолданбалы математика кафедрасы (Днепр қ., Украина),

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

**Нурманова А.Н.**, техника ғылымдарының магистрі, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының ассистенті, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Moldabayev S.K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department «Mining Engineering», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Babets D.V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Applied Mathematics at the NTU «Dniprovsk Polytechnika» (Dnipro, Ukraine)

**Rysbekov K.B.**, PhD (technical sciences), professor, director, O.A. Baikonurov Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Nurmanova A.N.**, Master of Technical Sciences, assistant of department «Metallurgy and mineral processing», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

# 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](mailto:mongolia@me-elecmetal.com)  
[www.me-elecmetal.com](http://www.me-elecmetal.com)

Код МРНТИ 52.13.21

\*А.А. Орынбай, А.Е. Алибаев, Т.С. Ибырханов

*Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)*

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БВР, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ НАИМЕНЬШИЕ ЗАТРАТЫ НА ДОБЫЧУ И ПЕРЕРАБОТКУ РУДЫ

**Аннотация.** Отгрузка разрушенной горной массы требуемого качества и количества на обогащающую фабрику является одной из основных задач подготовительных работ при добыче полезных ископаемых. Основным способом регулирования этого процесса является оптимизация параметров и технологий ведения буровзрывных работ. На Актогайском месторождении возникла проблема с увеличением крепости добываемой руды по мере углубления карьера, что сильно влияет на производительность обогащающей фабрики. В статье приведен опыт проведения мероприятий по оптимизации БВР для улучшения работы обогащающей фабрики, а точнее стабилизации процесса первичного дробления руды. В статье приведены методы расчета рациональных параметров и результатов БВР. Проведен расчет рациональных параметров БВР, а также расчет гранулометрического состава взорванных пород при рациональных параметрах и при предложенных для экспериментальных взрывов.

**Ключевые слова:** *ключевые результаты взрыва, буровзрывные работы, рациональные параметры, первичное дробление, грансостав, сужение сетки.*

### Кен өндіру және өндеу шығындарын азайтатын бұрғылау-жару жұмыстарының тиімді параметрлері

**Андатпа.** Қажетті сападағы және көлемдегі бұзылған тау жынысын байыту фабрикасына жөнелту пайдалы қазбаларды өндіруге дайындық жұмыстарындағы негізгі міндеттердің бірі болып табылады. Бұл процесі реттеудің негізгі әдісі бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлері мен технологияларын оңтайландыру болып табылады. Ақтоғай кен орнында карьердің тереңдеуімен өндірілетін кеннің беріктігінің артуы проблемасы туындады, бұл байыту фабрикасының өнімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Мақалада байыту фабрикасының жұмысын жақсарту, дәлірек айтқанда, кенді бастапқы ұсақтау процесін тұрақтандыру мақсатында бұрғылау-жару жұмыстарын оңтайландыру шараларын өткізу тәжірибесі баяндалған. Мақалада бұрғылау-жару жұмыстарының ұтымды параметрлерін есептеу әдістері және нәтижелері келтірілген. Бұдан басқа, ұтымды параметрлерге және эксперименттік жарылыстар үшін ұсынылған параметрлерге сәйкес жарылған жыныстардың гранулометриялық құрамын есептеу жүргізілді.

**Түйінді сөздер:** *негізгі жарылыс нәтижелері, бұрғылау-жару жұмыстары, ұтымды параметрлер, бастапқы ұсақтау, гранулометриялық құрам, торды тарылату.*

### Rational parameters of drilling and blasting works providing the least costs of ore mining and processing

**Abstract.** One of the main tasks of preparatory work in mineral extraction is the delivery of the required quality and quantity of broken rock mass to the processing plant. The primary method of regulating this process is optimizing the parameters and technologies of drilling and blasting operations. At the Aktogay deposit, a problem has arisen with the increasing hardness of the mined ore as the pit deepens, significantly affecting the performance of the processing plant. The article presents the experience of implementing measures to optimize drilling and blasting operations to improve the performance of the processing plant, specifically to stabilize the primary ore crushing process. The article provides methods for calculating rational parameters and results of drilling and blasting operations. Calculations were made for the rational parameters of drilling and blasting operations, as well as for the granulometric composition of blasted rock under rational parameters and those proposed for experimental blasts.

**Key words:** *key blast results, drilling and blasting operations, optimal parameters, primary crushing, granulometric composition, grid tightening.*

### Введение

Открытые горные работы представляют собой комплекс работ и мероприятий, нацеленных на извлечение полезных ископаемых (ПИ) из недр Земли. Одним из ключевых этапов ведения горных работ являются буровзрывные работы, которые напрямую влияют на дальнейшие этапы добычи и переработки ПИ. Казахстан является одним из крупнейших поставщиков ПИ на мировом рынке. Рационализация буровзрывных работ и согласование их с последующими процессами переработки ПИ остается важной и актуальной проблемой казахстанских недропользователей. Одним из предприятий, где остро стоит данная проблема, является KAZ Minerals с их проектом Актогай.

Актогайское месторождение находится в восточном регионе Казахстана, в Аягоском районе Семипалатинской области. Оно расположено в 100 км к юго-западу от районного центра Аягос, 420 км от районного центра Усть-Каменогорск и 1250 км от Астаны, столицы Казахстана.

На нем возникла задача по оптимизации БВР для дальнейшего улучшения дробления, увеличения производительности дробилок и снижения затрат на обогащающей фабрике. Проблема с измельчением и увеличением энергозатрат на обогащающей фабрике возникла из-за изменения состава поступающей руды. С увеличением глубины карьера стали преобладать диориты, которые имеют повышенную прочность по сравнению с ранее до-

бываемыми породами. Это привело к нестабильной работе обогащающей фабрики, а в следствии к простою и убыткам. Для решения проблемы было предложено сужение сетки скважин для уменьшения фракции, поступающей на ОФ, руды.

На данный момент в большинстве горных предприятий параметры БВР устанавливаются эмпирическим путем без учета механизма разрушения горных пород, физико-механических свойств пород и физико-химических характеристик ВВ.

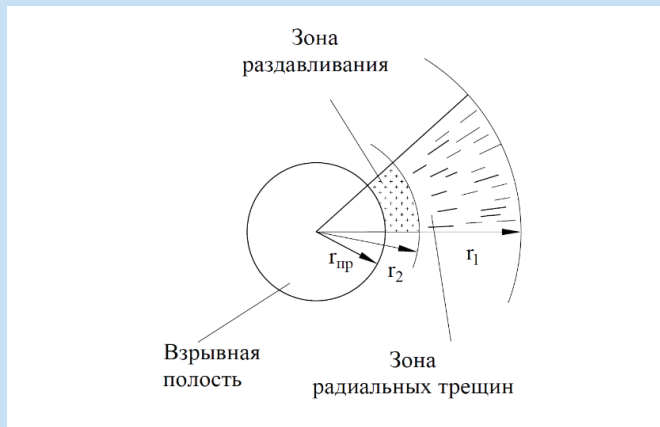
Так применяется несколько подходов по определению параметров БВР, в которых в качестве ключевых факторов, определяющих расположение скважин в массиве горных пород, принимается удельный расход ВВ и крепость горных пород. В силу наличия множества эмпирических, неопределенных коэффициентов рассмотренные методики не всегда дают удовлетворительные результаты, что отрицательно сказывается на эффективности ведения взрывных работ.

Из методик, основанных на расчете размеров зон разрушения породного массива [1-3], можно привести работу В.Н. Мосинца и Н.П. Горбачевой [1]. В ней, как и в работах [2, 3], формулы являются эмпирическими. В них не находят отражение физико-механические свойства пород, характеристики применяемого ВВ. В целях устранения этих недостатков предложен новый метод, основанный на использовании ключевых результатов взрыва в отбиваемом слое пород.

*Ключевые результаты взрыва зарядов ВВ в отбиваемом слое пород*

Разрушение горных пород действием взрыва заряда ВВ зависит от конкретного сочетания многочисленных влияющих факторов. В общем случае оно протекает в соответствии с гипотезой Г.И. Покровского [4], получившей дальнейшее развитие в работах Б.Р. Ракишева [5, 6].

К ключевым результатам разрушения горных пород взрывом заряда ВВ относятся предельный радиус взрывной полости, прочность пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, радиус зоны мелкого дробления, радиус зоны радиальных трещин и принцип рационального размещения зарядов в отбиваемом слое пород (рис. 1).



$r_{пр}$  – предельный радиус взрывной полости,  
 $r_2$  – радиус зоны мелкого дробления,  $r_1$  – радиус зоны трещинообразования

**Рис. 1. Структура зон разрушения вокруг взрывной полости.**

**Сурет 1. Жарылыс куыс айналасындағы қирау аймақтарының құрылымы.**

**Figure 1. The structure of the destruction zones around the explosive cavity.**

С использованием общих теорем теоретической механики, закономерностей и положений теории упругости [7] в работах [5, 6] для относительного предельного радиуса взрывной полости – основного критерия эффекта взрыва в твердой среде Б. Ракишевым получено уравнение:

$$\bar{r}_{пр} = (P_n/P_c)^{1/4}, \quad (1)$$

где  $P_n$  – начальное давление продуктов взрыва (ПВ) в зарядной камере,  $P_n = \frac{1}{8} \rho_{ВВ} D^2$ , МПа;  $P_c$  – прочностная характеристика пород в условиях всестороннего взрывного нагружения.

$P_c = \sigma_{сж} \left( \frac{\rho_0 c^2}{\sigma_{сж}} \right)^{1/4}$ , ПМа,  $\rho_{ВВ}$  – плотность заряда ВВ в шпуре (скважине), кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – скорость детонации заряда ВВ в шпуре, м/с.

$\sigma_{сж}$  – предел прочности породы на сжатие, МПа;  $\rho_0$  – плотность породы, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость звука в породе, м/с.

Радиус зоны мелкого дробления (см. рис. 1) равен [6]:

$$r_2 = r_{пр} \left( \frac{\rho_0 c^2}{5\sigma_{сж}} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где  $r_{пр}$  – предельный радиус взрывной полости, м:  $r_{пр} = \bar{r}_{пр} \cdot r_0$ ;  $r_0$  – радиус шпура, м.

Для радиуса зоны радиальных трещин имеем [6]:

$$r_1 = r_2 \frac{\nu}{1+\nu} \cdot \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}, \quad (3)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $\sigma_p$  – предел прочности породы на растяжение, МПа.

Принцип рационального размещения зарядов ВВ во взрываеом массиве, предусматривающий наибольший охват отбиваемого слоя пород трещинами, образованными действием взрыва при уступной отбойке выражен равенствами [5, 6]:

$$(1+k)^{1/2} \frac{\pi r_1}{2W} \approx 1, \quad \frac{2r_1}{a} \approx 1, \quad (1+k)^{1/2} \frac{h_3+r_2}{h} \approx 1, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий доли разрушения массива пород как от действия отраженных волн, так и вспучивающего действия взрыва и  $k=1$ ;  $W$  – линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), м;  $a$  – расстояние между скважинами в ряду, м;  $h_3$  – высота цилиндрического заряда в скважине без перебура, м;  $h$  – высота взрываеомого блока, м.

*Аналитическое определение рациональных параметров расположения зарядов массиве пород*

Исходные данные для проектирования параметров массового взрыва: размеры взрываеомого блока массива пород (длина ( $L$ ), ширина ( $B$ ), высота ( $h$ )), структурные характеристики (трещиноватость, гранулометрический состав естественных отдельных в массиве  $[p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)]$ , средний диаметр естественных отдельных  $d_e$ ), упругие (плотность  $\rho$ , скорость звука  $c$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ ) и прочностные свойства пород (предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$ , предел прочности на растяжение  $\sigma_p$ ), характеристики применяемого типа ВВ (плотность  $\rho_{ВВ}$ , скорость детонации  $D$ , начальное давление продуктов детонации (ПД)  $P_n$ ).

Необходимо установить параметры пространственного размещения зарядов ВВ во взрываеом блоке: диаметр скважины  $d_s$ , линию сопротивления по подошве уступа  $W$ , расстояние между скважинами  $a$ , расстояние между рядами скважин  $a_p$ , длину заряда  $l_1$  в скважине, длину заряда  $h_3$  над уровнем подошвы уступа, длину незаряженной части скважины  $l_2$ , длину перебура  $l_n$ .

Линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП) является важнейшим параметром расположения зарядов в массиве уступа.

Ее можно представить в виде:

$$W = \left( \frac{h}{8} \right)^{1/3} \frac{\pi r_1}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Рациональные параметры БВР определяются по следующим формулам:

$$a = \left(\frac{h}{8}\right)^{1/4} 2r_1, h_3 = 0,7h - r_2, l_2 = 0,3h + r_2,$$

$$l_n = \kappa_n r_1 / 3, l_1 = h_3 + l_n = 0,7h,$$

$$q_p = \frac{mq}{(w+(m-1) \cdot a_p) \cdot a \cdot h} \quad (6)$$

По данным предприятия известно о свойствах породы на экспериментальных участках, это разновидность диоритов с плотностью 2720-2920 кг/м<sup>3</sup>, скорость звука в породе 5300-5500 м/с, предел прочности на сжатие 98 МПа, предел прочности на растяжение ~ 9 МПа, коэффициент Пуассона 0,2, применяемое ВВ Fortis Extra с характеристиками 1100-1300 кг/м<sup>3</sup>, скорость детонации от 4000 до 6200 м/с. Расчет рациональных, типовых и новых параметров БВР приведен в таблице 1.

*Аналитическое определение гранулометрического состава взорванной горной массы*

Важнейшей характеристикой взорванной горной массы является ее кусковатость. При уступной отработке массивов горных пород она зависит от физико-механических

свойств пород, блочности (трещиноватости) массивов, химико-физических характеристик применяемого взрывчатого вещества (ВВ), высоты уступа, диаметра заряда ВВ, параметров расположения зарядов ВВ во взрывае-мом блоке уступа, конструкции заряда в скважине, схем взрывания зарядов, обводненности скважин. Результаты совместного влияния этих факторов на формирование гранулометрического состава взорванной горной массы – критерия кусковатости могут быть выявлены на основе закономерностей разрушения массива крепких горных пород действием взрыва.

Кусковатость и распределение кусков по размерам в отбитой горной массе наиболее полно могут быть представлены размерами зон дробления и процентным содержанием различных фракций в развале. Они могут быть определены теоретически. При этом процесс формирования кусков пород по размерам в различных слоях взорванных пород начинается как видно на рис. 2 с зоны раздавливания (мелкого дробления). К этой зоне последовательно примыкают породы из зоны радиальных трещин, зоны трещин, развиваемых от свободной поверхности, и зоны совместного разрушения действием продуктов детонации.

Таблица 1

*Результаты автоматизированного расчета параметров БВР для экспериментальных взрывов*

Кесте 1

*Тәжірибелік жарылыстардың жарылыс параметрлерін автоматтандырылған есептеу нәтижелері.*

Table 1

*Results of automated calculation of blasting parameters for experimental explosions*

Параметры БВР	1	2	3
Прочностная характеристика породы, МПа	502,98		
Начальное давление ПВ, МПа	2200		
Относительный предельный радиус полости	1,45		
Радиус скважины, м	0,1015	0,1015	0,1015
Предельный радиус полости, м	0,15		
Радиус зоны мелкого дробления, м	1,73		
Радиус зоны радиальных трещин, м	3,14		
Число рядов скважин, шт.	4	4	4
ЛСПП, м	7,5	6,8	6
Расстояние между скважинами, м	6,64	5,8	5,2
Расстояние между рядами скважин, м	6,64	6,8	6
Длина перебура, м	1,31	1	1
Глубина скважины, м	11,31	11	11
Длина заряда в скважине, м	6,06	6	6,8
Длина недозаряда скважины, м	5,25	5	4,2
Вместимость 1-го погонного метра, кг	35,6	35,6	35,6
Масса заряда, кг	215,72	213,6	242,08
Всего ВВ на цикл, кг	862,88	854,4	968,32
Fortis Extra			
Объем бурения, м	45,24	44	44
Объем отбойки, м <sup>3</sup>	1820,7	1577,6	1248
Выход горной массы с одного метра скважины м <sup>3</sup> /м	40,24	35,85	28,36
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	0,474	0,542	0,77

Примечание: расчетные (1), типовые (2) и принятые (3) параметры БВР



Процентное содержание различных по крупности кусков предопределяется влиянием различных действующих факторов.

Для решения поставленной задачи объем пород в указанных зонах в соответствии с рис. 1, 2 необходимо разбить на отдельные части по крупности кусков, содержащихся в нем. Основой для этого служат экспериментальные данные, полученные при взрыве метрового уступа, сложенного из пестроцветных глин [5]. В результате анализа этих данных установлено, что линейный размер кусков вблизи контура зоны интенсивного дробления в своем большинстве составляет  $(1,4-1,6)r_0$  в соответствии с рис. 1 [8, 9].

Расчеты показывают, что при применении скважин диаметром  $d_0 = 0,2$  м весь объем зоны мелкого дробления состоит из кусков размером до 0,15 м, а зона радиальных трещин содержит куски размером 0,17÷0,50 м. Действительно, как показывают замеры, при рациональном размещении зарядов в массиве наиболее распространенный размер кусков в области между взорванными скважинами обычно не превышает 0,60 м.

Исходя из того, что максимальный линейный размер кусков пород в развале редко превышает 1,4 м, их с шагом 0,2 м обычно подразделяют на 7 классов. К первому классу относят куски размером до 0,2 м, ко второму классу – размером 0,21–0,40 м, к третьему – размером 0,41–0,60 м и т. д. до седьмого класса, к которому относят куски размером более 1,21 м. Куски пород первых трех классов формируются в зонах мелкого дробления и радиальных трещин. Объединенную зону можно назвать зоной интенсивного дробления пород в соответствии с рис. 2б. Последующие классы пород образуются в оставшейся части взорванного блока уступа за вычетом из нее объема зоны интенсивного дробления. Эту зону называют зоной пассивного дробления. В ней происходит взрывное расчленение массива пород на естественные отдельные с незначительным их дроблением. Такая интерпретация формирования базы гранулометрического состава взорванных пород полностью соответствует современным представлениям о разрушении массива пород взрывом [10, 11].

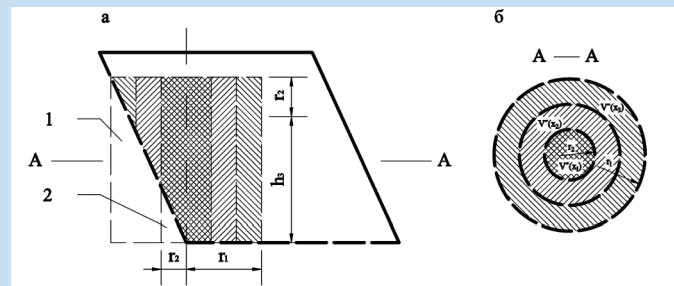
В соответствии с моделью поэтапного разрушения массива объем интенсивно раздробленной породы в первой стадии взрыва обуславливается размером зоны радиальных трещин. Следовательно, объем интенсивно разрушенной породы одним скважинным зарядом равняется объему цилиндра с радиусом  $r_1$  и высотой  $h_3 + r_2$  в соответствии с рис. 1. К этому объему присоединяется разрушенная порода за счет отраженной волны и газообразных продуктов взрыва, и весь объем разрушенной породы одним скважинным зарядом составляет

$$V_{др} = (1 + k_1 + k_2)\pi r_1^2 (h_3 + r_2), \quad (7)$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие долю разрушенного объема за счет отраженной волны растяжения и за счет вспучивающего действия взрыва соответственно. На основе данных их сумму ( $k_1 + k_2 = k$ ) можно принять равной 1, т. е.  $k = 1$ .

Данные экспериментальных взрывов [12] показали, что объем интенсивного дробления вокруг заряда  $V'_{др}$  состоит из кусков пород первых трех классов в соответствии с рис. 2. При этом к первому классу (0-0,2 м) может быть отнесен весь объем породы зоны мелкого дробления и одна треть объема породы из зоны радиальных трещин (с учетом равной вероятности присутствия этих фракций в рассматриваемой зоне), а ко второму (0,2-0,4 м) и третьему (0,4-0,6 м) классам – соответственно по одной трети упомянутого объема. В случае скважин, расположенных в последнем ряду блока, из первого класса крупности исключаются неразрушенный объем пород из зоны мелкого дробления в соответствии с рис. 2а, отрезок цилиндра 1, объем неразрушенного слоя отрезка цилиндра за зоной мелкого дробления в соответствии с рис. 2а, слой 2, из второго и третьего классов крупности соответственно исключаются неразрушенные слои отрезков цилиндра в зоне радиальных трещин по одной трети в каждом классе крупности в соответствии с рис. 2а, слои 3, 4.

Такое распределение интенсивно раздробленных кусков пород по классам крупности вокруг зарядов в последнем ряду показано на рис. 2а.



в поперечном разрезе уступа (а), по разрезу А–А (б)

**Рис. 2. Расположение классов пород по крупности  $V''(x_3), V''(x_2), V''(x_1)$  в зоне интенсивного дробления в последнем ряду скважин.**

**Сурет 2. Соңғы ұңғыма қатарындағы интенсивті ұсақтау аймағында жыныс кластарын  $V''(x_3), V''(x_2), V''(x_1)$  ірілігі бойынша орналастыру.**

**Figure 2. Arrangement of Rock Size Classes  $V''(x_3), V''(x_2), V''(x_1)$  in the Intense Fragmentation Zone in the Last Row of Boreholes.**

Таким образом, при многорядном расположении скважин:

$$V''(x_1) = n \left( \pi r_2^2 (h_3 + r_2) + \frac{1}{3} \pi (r_1^2 - r_2^2) (h_3 + r_2) \right) - n_T \left( \frac{2}{3} r_2^3 t g \alpha + \frac{2}{9} (r_1^3 - r_2^3) t g \alpha \right),$$

$$V''(x_2) = V''(x_3) = n \left( \frac{1}{3} \pi (r_1^2 - r_2^2) (h_3 + r_2) \right) - n_T \frac{2}{9} (r_1^3 - r_2^3) t g \alpha, \quad (8)$$

где  $V''(x_1), V''(x_2), V''(x_3)$  – объемы пород соответственно первого  $x_1$ , второго  $x_2$  и третьего  $x_3$  классов крупности

в зоне интенсивного дробления массива;  $n$  – общее количество скважин;  $n_T$  – количество скважин в последнем ряду;  $\alpha$  – угол откоса уступа;  $h_3 + r_2$  – высота цилиндра – интенсивно разрушенного объема породы в соответствии с рис. 2.

Объем породы, пронизанный радиальными трещинами в тыльной части массива, представляет собой отрезок цилиндра и рассчитывается по:  $V_{o.ц} = 2/3r_1^3tg\alpha$ . В зоне мелкого дробления  $V_{o.ц} = 2/3r_2^3tg\alpha$ . Объем слоя отрезка цилиндра за зоной мелкого дробления  $V_{o.ц}^c = 2/3(r_1^3 - r_2^3)tg\alpha$ . Весь объем интенсивно раздробленной породы в рассматриваемой зоне равняется сумме объемов пород первых трех классов крупности:

$$\begin{aligned} V_{ц} &= V''(x_1) + V''(x_2) + V''(x_3) = \\ &= n\pi r_1^2(h_3 + r_2) - n_T \frac{2}{3} r_1^3 tg\alpha. \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнение (9) подтверждает справедливость соотношений (8).

Во всей взорванной горной массе к перечисленным классам крупности пород необходимо прибавлять соответствующие естественные отдельности, входящие в состав остальной части взрывающегося блока. Эти объемы пропорциональны их содержанию в массиве пород (таблица 2).

Таким образом, объемы первых трех классов во всей взорванной породе определяются по формулам:

$$\begin{aligned} V'(x_1) &= (1+k)[V''(x_1) + p(x_1)V''(x_2) + \\ &+ p(x_1)V''(x_3)] + p(x_1)[V - (1+k)V_{ц}] \\ V'(x_2) &= (1+k)[V''(x_2) + p(x_2)V''(x_3) + \\ &+ p(x_1)V''(x_2)] + p(x_2)[V - (1+k)V_{ц}] \\ V'(x_3) &= (1+k)[V''(x_3) + p(x_1)V''(x_3) + \\ &+ p(x_2)V''(x_3)] + p(x_3)[V - (1+k)V_{ц}] \end{aligned} \quad (10)$$

здесь  $V$  – объем породы взрывающегося блока массива;  $V''(x_i)$  – объем интенсивно раздробленной породы  $i$ -го класса ( $i \leq 3$ );  $V'(x_i)$  – весь объем породы  $i$ -го класса после взрыва;  $p(x_i)$  – содержание кусков  $i$ -го класса в массиве, дол. ед.

$$V = LBh = an_c(W + a_p(n_p - 1))h.$$

Здесь  $n_c$  – количество скважин в ряду;  $n_p$  – количество рядов скважин.

Как видно из (10), объем пород первого класса крупности во всей взорванной породе состоит из объемов пород, содержащихся в первом, втором и третьем классах в зоне интенсивно дробления и объема таких классов в остальной части взорванной породы. Этот объем пород пропорционален разности объемов взрывающегося блока и интенсивно раздробленных пород. Коэффициент пропорциональности равен процентному долевому содержанию рассматриваемого куска в массиве. Объем пород второго

класса крупности состоит из суммы объемов второго и третьего классов в зоне интенсивного дробления за вычетом объема пород первого класса и с прибавлением к ним части второго класса в остальной части взорванной породы. Объем пород третьего класса рассчитывается по аналогичной схеме.

Классы пород по крупности более 0.61 м формируются в зоне пассивного дробления под совокупным действием волновых процессов и газообразных продуктов взрыва. При этом происходит расчленение взрывающегося блока на естественные отдельности (в первой стадии взрыва) с незначительным их дроблением. Последнее реализуется за счет соударения кусков пород при перемещении во второй и третьей стадиях взрыва.

Для определения объема сокращения крупных кусков в общей массе примем следующие предположения. Куски пород размером более 1.21 м в результате соударения в общем объеме сократятся на одну четвертую (1/4) своего первоначального значения. Раздробленная часть этих кусков распределяется по нижнему классу (1.01-1.20 м), т. е. к нему прибавляется 1/4 часть содержания самых крупных кусков. Процентное содержание кусков в шестом классе (1.01-1.20 м) также уменьшится на 1/4 своего первоначального значения. Его раздробленная часть прибавляется к нижнему классу (0.81-1.00 м). Иначе говоря, доля этого класса увеличится еще на 1/4 содержания предыдущего класса. Доля кусков в пятом классе (0.81-1.00) уменьшится на одну четвертую первоначального значения. Эта доля прибавится к четвертому классу крупности (0.61-0.80). Структура кусков пород размером до 0.6 м не претерпевает изменений. В целом описанное перераспределение кусков пород во второй и третьей стадиях взрыва можно записать в виде:

$$\begin{aligned} q(x_1) &= p(x_1), \quad q(x_2) = p(x_2), \quad q(x_3) = p(x_3), \\ q(x_4) &= p(x_4) + \frac{1}{4}p(x_5), \\ q(x_5) &= \frac{3}{4}p(x_5) + \frac{1}{4}p(x_6). \\ q(x_6) &= \frac{3}{4}p(x_6) + \frac{1}{4}p(x_7), \quad q(x_7) = \frac{3}{4}p(x_7). \end{aligned} \quad (11)$$

Эти зависимости представляют собой виртуальное содержание естественных отдельностей в массиве пород. Их численные значения приведены в таблице (вторая строка). Процентное содержание естественных отдельностей является численной характеристикой структуры массива пород.

По среднему диаметру естественных отдельностей массивы пород карьеров Актогайского месторождения, как и других месторождений, подразделены на мелкоблочные (чрезвычайно трещиноватые), среднеблочные (силнотрещиноватые), крупноблочные (среднетрещиноватые) и весьма крупноблочные (малотрещиноватые). Блочность массива оказывает сильное влияние на образование раздробленных кусков во всех стадиях взрыва.

По аналогии со вторым слагаемым выражений (10) объемы пород крупных классов (выше 0.61 м) в зоне пассив-

Таблица 2

Реальный (числитель) и виртуальный (знаменатель) гранулометрический состав естественных отдельностей в массивах пород

Кесте 2

Шын мәніндегі (жоғарғы) және виртуалды (төменгі) табиғи бөлшектердің жыныс массивтеріндегі гранулометриялық құрамы

Table 2

Real (numerator) and Virtual (denominator) Granulometric Composition of Natural Particles in Rock Masses

Наименование пород	Массивы по блочности (степень трещиноватости)	Содержание в массиве (%) естественных отдельностей размером (м)							Средний диаметр, м
		<0,20	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	0,81–1,00	1,01–1,20	>1,2	
Альбитофир, андезитовые порфириды	Мелкоблочные (чрезвычайно трещиноватые)	<u>67,84</u>	<u>21,83</u>	<u>7,03</u>	<u>2,26</u>	<u>0,73</u>	<u>0,23</u>	<u>0,08</u>	0,19
		67,84	21,83	7,03	2,44	0,6	0,19	0,06	0,19
Мартиты, туфы диорит-порфиридов	Среднеблочные (сильнотрещиноватые)	<u>48,83</u>	<u>25,22</u>	<u>13,02</u>	<u>6,73</u>	<u>3,47</u>	<u>1,79</u>	<u>0,93</u>	0,30
		48,83	25,22	13,02	7,59	3,05	1,57	0,69	0,29
Богатые и бедные магнетитовые руды, диабазовые порфиридовые	Крупноблочные (среднетрещиноватые)	<u>30,59</u>	<u>22,23</u>	<u>16,16</u>	<u>11,75</u>	<u>8,54</u>	<u>6,21</u>	<u>4,51</u>	0,46
		30,59	22,23	16,16	13,88	7,95	5,78	3,38	0,45
Роговики, массивный известняк	Весьма крупноблочные (малотрещиноватые)	<u>19,92</u>	<u>17,66</u>	<u>15,66</u>	<u>13,88</u>	<u>12,31</u>	<u>10,91</u>	<u>9,67</u>	0,60
		19,92	17,66	15,66	16,95	11,96	10,6	7,25	0,59

ного дробления прямо пропорциональны разности объемов взрываемого блока и интенсивно раздробленных пород в нем. В качестве коэффициента пропорциональности в этом случае принимается виртуальное содержание естественных отдельностей в массиве пород. Тогда объемы пород искоемых классов ( $j \geq 4$ ) определяются по формуле:

$$V'(x_j) = q(x_j)[V - (1 + k)V_{ц}], \quad (12)$$

где  $q(x_j)$  – виртуальное содержание  $j$ -го класса в массиве пород, дол. ед.

Объемы пород различных классов крупности  $V'(x_i)$ ,  $V'(x_j)$ , формируемые соответственно в зонах интенсивного и пассивного дробления, являются базой гранулометрического состава взорванных горных пород. Для вычисления этой характеристики достаточно разделить полученные объемы (19) и (21) на объем взрываемого блока.

Содержание кусков пород первых трех классов устанавливается соотношением ( $i \leq 3$ ):

$$p'(x_i) = \frac{V'(x_i)}{V}, \quad (13)$$

а содержание кусков пород последующих классов ( $i \geq 4$ ) определяется по выражению

$$p'(x_j) = \frac{q(x_j)}{V} [V - (1 + k)V_{ц}], \quad (14)$$

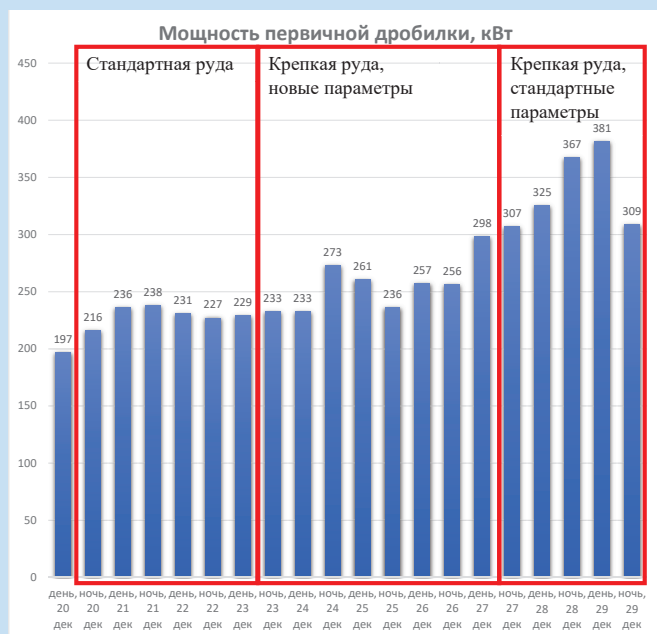
Совокупность значений  $p'(x_1)$ ,  $p'(x_2)$ , ...,  $p'(x_n)$  представляет собой гранулометрический состав взорванных горных пород.

Таким образом, по (13), (14) при заданных физико-механических, структурных свойствах пород, детонационных, энергетических характеристиках ВВ, параметрах и способе взрывания легко вычисляется гранулометрический состав взорванной руды и породы. Такой метод определения кусковатости взорванных горных пород принципиально отличается от известных эмпирических [1-3] теоретической обоснованностью и полнотой учета всех влияющих факторов на конечные результаты взрыва.

Как видно из выражений (13), (14) гранулометрический состав взорванных горных пород сильно зависит от содержания естественных отдельностей в массиве пород. Поэтому установление категории блочности массивов пород или категорий взрываемости пород на карьерах является исключительно важной задачей.

Разработана компьютерная программа для расчета параметров и результатов БВР на языке C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2022.

Расчетный грансостав взорванных диоритов при рациональных параметрах следующий: содержание фракций 1 класса (0-0,2 м) составляет 61,88%, 2 класса (0,2-0,4 м) 21,23%, 3 класса (0,4-0,6 м) 11,72%, 4 класса (0,6-0,8 м) 2,31%, 5 класса (0,8-1,0 м) 1,33%, 6 класса (1,0-1,2 м) 0,96%, 7 класса (>1,2 м) 0,56%. Расчетный грансостав взорванных диоритов по новым экспериментальным параметрам следующий: содержание фракций 1 класса (0-0,2 м) составляет 88,83%, 2 класса (0,2-0,4 м) 11,17%, остальные классы не присутствуют (таблица 3). По условиям предприятия негабаритов выше 1000 мм не должно превышать 3%. Как можно видеть из расчета рационального подхода



**Рис. 3. Мощность первичной дробилки на обогатительной фабрике АК1.**

**Сурет 3. АК1 байыту фабрикасындағы бастапқы ұсақтағыштың қуаты.**

**Figure 3. Power of the Primary Crusher at the AK1 Processing Plant.**

(1 строка, таблица 3) и суженной сетки скважин (3 строка, таблица 3), по новым параметрам гранулометрический состав изменяется в сторону уменьшения среднего куска в 2 раза, с 0,23 м до 0,12 м.

На рис. 3 показан график мощности первичной дробилки на обогатительной фабрике АК1 во время подачи стандартной руды, крепкой руды, взорванной по новым параметрам БВР и крепкой руды, взорванной по стандартным параметрам БВР согласно отчету инженерных служб

Актогайского месторождения и обогатительной фабрики по экспериментальным взрывам.

По экспериментальным блокам было выявлено снижение энергозатрат на стадии первичного дробления на обогатительной фабрике на 25%, средняя мощность работы первичной дробилки при типовых параметрах вышла 337,8 кВт, а при суженной сетке 255 кВт. Как видно из расчетных параметров и фактического результата имеет место увеличение расходов на БВР, т.е. объема бурения на 23%, времени работы буростанков на 20%, расход БВ на 26%, износ инструментов на 24%. Однако производительность ОФ также выросла за счет поступления более стабильной породы с уменьшенной фракцией кусков.

Необходимо дальнейшее проведение экспериментальных взрывов с другими параметрами для выявления оптимального сочетания расходов на БВР, и производительности ОФ. Предложенные методы расчетов параметров и результатов БВР полностью согласуются с экспериментальными результатами и могут быть применены для дальнейшего расчета параметров БВР, которые дадут необходимые результаты взрыва, т.е. оптимальный гранулометрический состав (средний кусок), требуемый для обогатительной фабрики.

#### Заключение

На основе ключевых результатов взрыва предложен аналитический метод определения рациональных параметров буровзрывных работ.

С учетом поэтапной модели разрушения пород и ключевых результатов взрыва был создан аналитический метод определения гранулометрического состава взорванной горной массы в зависимости от условий ведения и параметров БВР.

На основе проведенных экспериментальных взрывов на предприятиях было выявлено, что сужение сетки скважин с 5.8x6.8 м до 5.2x6 м влечет двукратное уменьшение среднего куска взорванной горной массы.

**Таблица 3**

**Расчетный гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м) на экспериментальных участках, диорит, крупноблочный**

**Кесте 3**

**Эксперименттік учаскелердегі жарылған жыныстардың есептелген гранулометриялық құрамы (%) өлшемі (м), диорит, ірі блоқты.**

**Table 3**

**Calculated granulometric composition of blasted rock (%) by size (m) at experimental sites, diorite, large-block**

Тип расчета	Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)							Всего, %
	<20	21-40	41-60	61-80	81-100	100-120	>120	
Автоматизированный расчет грансостава по рациональным параметрам	61,88	21,23	11,72	2,31	1,33	0,96	0,56	100
Автоматизированный расчет грансостава по прежнему (типовым) параметрам	69,16	19,29	10,15	0,63	0,36	0,26	0,15	100
Автоматизированный расчет грансостава по новым параметрам	88,83	11,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100

В результате на ОФ произошло снижение энергозатрат на 25%. Несмотря на увеличение расходов на БВР (объема бурения на 23%, времени работы буростанков на 20%, расходов ВВ на 26%, износа инструментов на 24%), за счет уменьшения потребления электричества и стабилизации рудопотока для дальнейшей переработки, может быть достигнута многократная экономия.

#### Благодарность

Статья подготовлена в рамках программно-целевого финансирования министерства науки и высшего образования Республики Казахстан 2023/BR21881939 «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инженерингового центра».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mosinets V.N. Сейсмологический метод определения параметров зон деформации горных пород взрывными работами. / Mosinets V.N., Gorbacheva N.P. // Советское горное дело. 1972. Вып. 8. Ч. 6. С. 640-647 (на английском языке)
2. Каталан Алекс. Моделирование предварительной подготовки взрывом при блочном и панельном обрушении. / Каталан Алекс, Онедерра Итало. // Технология горного дела: Труды Институт горного дела и металлургии. 2016. Разд. А 126 (2). С. 59-76 (на английском языке)
3. Wang Z. Оптимизация параметров сети взрывных скважин перед расколом и их инженерное применение в открытых карьерах. / Wang Z., Wu G., Zhou L. // Прикладные науки. 2022. №12(10). Ст. №4930 (на английском языке)
4. Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах: М., 1957, С. 276 (на русском языке)
5. Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах: Алма-Ата, Наука, 1983, С. 240 (на русском языке)
6. Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование и производства массовых взрывов на карьерах: Алма-Ата, Наука, 2016, С. 340 (на русском языке)
7. Физика взрыва. Под ред. К.П. Станюковича: М., 1975, С. 704 (на русском языке)
8. Ракишев Б.Р., Ауэзова А.М., Ракишева З.Б. Уточнение гранулометрического состава естественных трещин в массиве горных пород по их среднему размеру. // Материалы 9-й Международной конференции по физическим проблемам разрушения горных пород, Пекин, Китай, 2014. – С.274-282 (на английском языке)
9. Rakishev B. Цифровая иерархическая модель комковатости взорванного горного массива. / Rakishev B., Rakisheva Z.B., Auezova A.M., Orynbay A.A. // Горные технологии. 2020. №129 (4). С. 228-237 (на английском языке)
10. Викторов С.Д. Теоретические и экспериментальные исследования характера распределения энергии в массиве горных пород при взрыве технологических зарядов. / С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко. // Инженерная физика. 2018. №7. С. 43-50 (на русском языке)
11. Ракишев Б.Р. Формирование гранулометрического состава взорванных пород при уступной отбойке. // ФТПРПИ. 2020. №1. С. 41-53 (на русском языке)
12. Ракишев Б.Р. Распределение естественных отделенностей по размерам в массиве горных пород. / Б.Р. Ракишев, А.М. Ауэзова, А.П. Калиева, А.Н. Дауренбекова. // Взрывное дело. 2014. №111/68. С.18-30 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Mosinets V.N. Жару арқылы тау жыныстарының деформациялану аймақтарының параметрлерін анықтаудың сейсмологиялық әдісі. / Mosinets V.N., Gorbacheva N.P. // Кеңестік тау-кен ғылымы. 1972. Шығ.8. Ч. 6. Б. 640-647 (ағылшын тілінде)
2. Каталан Алекс. Блок пен панельді құлату кезінде жарылыс арқылы алдын ала дайындауды модельдеу. / Каталан Алекс, Онедерра Итало. // Тау-кен өндіру технологиясы: Тау-кен металлургия институттарының еңбектері. 2016. Сек. А 126 (2). Б. 59-76 (ағылшын тілінде)
3. Wang Z. Жару алдындағы жару саңылауларының желілік параметрлерін және ашық кеніштегі инженерлік қолданбаларды оңтайландыру. / Wang Z., Wu G., Zhou L. // Қолданбалы ғылымдар. 2022. №12 (10). Мақ. №4930 (ағылшын тілінде)
4. Покровский Г.И., Федоров И.С. Деформацияланатын ортадағы соққы мен жарылыстың әрекеті: М., 1957, Б. 276 (орыс тілінде)
5. Ракишев Б.Р. Карьерлерде жарылған жыныстардың технологиялық параметрлерін болжау: Алматы, Ғылым, 1983, Б. 240 (орыс тілінде)
6. Ракишев Б.Р. Карьерлерде жаппай жарылыстарды автоматтандырылған жобалау және өндіру: Алматы, Ғылым, 2016. Б. 340 (орыс тілінде)
7. Жарылыс физикасы, Станюкович К.П. ред.: М., 1975, Б. 704 (орыс тілінде)
8. Рақышев Б.Р., Әуезова А.М., Рақышева З.Б. Тау жыныстары массаларындағы табиғи жарықшақтардың гранулометриялық құрамын олардың орташа өлшемдері бойынша нақтылау. // Тау жыныстарының сынуының физикалық мәселелері бойынша 9-шы халықаралық конференция материалдары, Пекин, Қытай, 2014. – Б. 274-282 (ағылшын тілінде)
9. Rakishev B. Жарылған тау массасының кесектігінің цифрлық иерархиялық моделі. / Rakishev B., Rakisheva Z.B., Auezova A.M., Orynbay A.A. // Тау-кен өндіру технологиясы. 2020. №129 (4). Б. 228-237 (ағылшын тілінде)

10. Викторов С.Д. Тау жыныстары массивінде технологиялық зарядтарды жару кезінде энергияның таралу сипатын теориялық және эксперименттік зерттеулер. / С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко. // Инженерлік физика. 2018. №7. Б. 43-50 (орыс тілінде)
11. Ракишев Б.Р. Үстемелі соққы кезінде жарылған жыныстардың гранулометриялық құрамын қалыптастыру. // ФТПРПИ. 2020. №1. Б. 41-53 (орыс тілінде)
12. Ракишев Б.Р. Тау жыныстары массивінде табиғи жіктелулердің өлшемдері бойынша таралуы. / Б.Р. Ракишев, А.М. Әуезова, А.П. Калиева, А.Н. Дауренбекова. // Жарылыс ісі. 2014. №111/68. Б. 18-30 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Mosinets V.N. A seismological method of determining the parameters of the zones of deformation of rock by blasting / Mosinets V.N., Gorbacheva N.P. // Soviet Mining Science. 1972. Vol. 8, Oss. 6. P. 640-647 (in English)
2. Catalan Alex. Modeling of preliminary preparation by explosion during block and panel collapse. / Catalan Alex, Onederra Italo. // Mining technology: Proceedings of the Institutes of Mining and Metallurgy. 2016. Sec. A 126 (2). P. 59-76 (in English)
3. Wang Z. Optimization of blast hole network parameters before fracturing and their engineering application in open pits. / Wang Z., Wu G., Zhou L. // Applied Sciences. 2022. №12 (10). Art. №4930 (in English)
4. Pokrovskii G.I., Fedorov I.S. Deistvie udara i vzryva v deformiruemyykh sredakh: M., 1957, S. 276 [Pokrovsky G. I., Fedorov I. S. Action of Impact and Explosion in Deformable Media: Moscow, 1957, P. 276] (in Russian)
5. Rakishev B.R. Prognozirovanie tekhnologicheskikh parametrov vzorvannykh porod na kar'erakh: Alma-Ata, Nauka, 1983, S. 240 [Rakishev B.R. Prediction of technological parameters of blasted rocks in quarries: Alma-Ata, Science, 1983, P. 240] (in Russian)
6. Rakishev B.R. Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstva massovykh vzryvov na kar'erakh: Alma-Ata, Nauka, 2016, S. 340 [Rakishev B.R. Automated Design and Production of Mass Blasts in Open Pits: Alma-Ata, Science, 2016. P. 40] (in Russian)
7. Fizika vzryva. Pod red. K.P. Stanyukovicha: M., 1975, S. 704 [Physics of Explosion. Stanyukovich K.P. Ed.: Moscow, 1975. P. 704] (in Russian)
8. Rakishev B.R., Auezova A.M., Rakisheva Z.B. The specification of granulometric composition of natural jointing in the rock massif by their average size. // Proceedings of the 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction, Beijing, China, 2014. – P. 274-282 (in English)
9. Rakishev B. Digital hierarchical model of lumpiness of blasted rock mass. / Rakishev B., Rakisheva Z.B., Auezova A.M., Orynbay A.A. // Mining Technology. 2020. №129 (4). P. 228-237 (in English)
10. Viktorov S.D. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya kharaktera raspredeleniya energii v massive gornykh porod pri vzryve tekhnologicheskikh zaryadov. / S.D. Viktorov, Yu.P. Galchenko. // Inzhenernaya fizika. 2018. №7. С. 43-5 [Viktorov S.D. Theoretical and Experimental Studies of the Energy Distribution Character in a Rock Mass during the Explosion of Technological Charges. / Viktorov S.D., Galchenko Yu.P. // Engineering Physics. 2018. №7. P. 43-50] (in Russian)
11. Rakishev B.R. Formirovanie granulometricheskogo sostava vzorvannykh porod pri ustupnoi otboike. // FTRPI. 2020. №1. С. 41-53 [Rakishev B. R. Formation of Granulometric Composition of Blasted Rocks during Bench Blasting. // FTRPI. 2020. №1. P. 41-53] (in Russian)
12. Rakishev B.R. Raspredelenie estestvennykh otdel'nostei po razmeram v massive gornykh porod. / B.R. Rakishev, A.M. Auezova, A.P. Kalieva, A.N. Daurenbekova. // Vzryvnoe delo. 2014. №111/68. S.18-30 [Rakishev B.R. Distribution of Natural Particles by Size in a Rock Mass. / Rakishev B.R., Auezova A.M., Kaliyeva A.P., Daurenbekova A.N. // Blasting Affairs. 2014. №111/68. P. 18-30] (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Орынбай А.А.**, PhD, ВНС кафедры «Горное дело» НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [a.orynbay@aues.kz](mailto:a.orynbay@aues.kz); <https://orcid.org/0000-0002-3720-7625>

**Алибаев А.Е.**, докторант, МНС кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [azamatalibaev@mail.ru](mailto:azamatalibaev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6747-6148>

**Ибырханов Т.С.**, докторант, МНС кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [ibir.tem@mail.ru](mailto:ibir.tem@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-6344-8270>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Орынбай А.А.**, PhD, «Тау-кен ісі» кафедрасының ЖФК, КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

**Алибаев А.Е.**, «Тау-кен ісі» кафедрасының КФК, докторанты, КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

**Ибырханов Т.С.**, «Тау-кен ісі» кафедрасының КФК, докторанты, КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Orynbay A.A.**, PhD, LR of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)

**Alibaev A.Ye.**, JR, doctoral student of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)

**Ibyrkhanov T.S.**, JR, doctoral student of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev» (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.01.91

Б.С. Баимбетов, Е.Б. Тажиев, \*Г.Ж. Молдабаева, А.А. Даулетбакова

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»  
(г. Алматы, Казахстан)

## К ПРОБЛЕМЕ ПЕРЕРАБОТКИ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ КАЗАХСТАНА

**Аннотация.** Дана характеристика отвальным медным шлакам, рассчитан их рациональный состав. Для эффективной переработки подобных шлаков предложено применение процесса выщелачивания растворами серной кислоты, не требующего затрат тепловой энергии извне, вследствие экзотермичности протекающих реакций. Выполнен расчет термодинамических характеристик реакций, возможных при выщелачивании отвальных медных шлаков растворами серной кислоты. Проведен анализ фазового равновесия процесса выщелачивания шлака при различных расходах серной кислоты, оценено влияние температуры на изменение состава фаз, построены диаграммы фазового равновесия. Выполнены исследования по сернокислотному выщелачиванию отвальных медных шлаков при комнатной температуре и при 80 °С. Выявлены проблемы сгущения и фильтрования пульпы после выщелачивания, связанные с образованием кремниевой кислоты.

**Ключевые слова:** медеплавильный шлак, серная кислота, выщелачивание, раствор, кек.

### Қазақстанның мыс балқыту зауыттарының үйінді шлактарын қайта өңдеу проблемасына

**Аннотация.** Үйінді мыс шлактарына сипаттама беріліп, олардың рационалды құрамы есептелді. Мұндай шлактарды тиімді өңдеу үшін жүретін реакциялардың экзотермиялық болуына байланысты жылу энергиясының сырттан шығынын қажет етпейтін күкірт қышқылының ерітінділерімен шаймалау процесін қолдану ұсынылады. Үйінді мыс шлактарын күкірт қышқылының ерітінділерімен шаймалау кезінде мүмкін болатын реакциялардың термодинамикалық көрсеткіштері есептелді. Күкірт қышқылының әр түрлі шығындарында шлақты шаймалау процесінің фазалық тепе-теңдігіне талдау жүргізіліп, температураның фазалар құрамының өзгеруіне әсері бағаланды, фазалық тепе-теңдік диаграммалары тұрғызылды. Үйінді мыс шлактарын бөлме және 80 °С температураларда күкірт қышқылымен шаймалау бойынша зерттеулер жүргізілді. Кремний қышқылының түзілуіне байланысты шаймалаудан кейін пульпаның қоюланып сүзуге кедергі жасайтыны анықталды.

**Үйінді сөздер:** мыс балқыту шлактары, күкірт қышқылы, шаймалау, ерітінді, кек.

### To the problem of processing of waste slag from copper smelting plants in Kazakhstan

**Abstract.** The characteristic of dump copper slag is given, their rational composition is calculated. For the effective processing of such slags, it is proposed to use the leaching process with sulfuric acid solutions, which does not require the expenditure of heat energy from outside, due to the exothermicity of the ongoing reactions. Calculation of thermodynamic characteristics of reactions possible at leaching of waste copper slags with solutions of sulphuric acid is carried out. The phase equilibrium of the slag leaching process was analysed at different sulphuric acid flow rates and the influence of temperature on the change of phase composition was evaluated, phase equilibrium diagrams were constructed. Studies on sulfuric acid leaching of waste copper slag at room temperature and at 80 °C. Problems of pulp thickening and filtration after leaching associated with the formation of silicic acid have been identified.

**Key words:** copper smelting slag, sulfuric acid, leaching, solution, undissolved residue.

### Введение

В настоящее время в старых отвалах всего мира накоплено десятки миллионов тонн шлаков черной и цветной металлургии, представляющих собой огромную ценность [1], причем шлаки, получаемые на предприятиях цветной металлургии, могут оказывать более негативное воздействие на окружающую среду по сравнению со шлаками черной металлургии. В связи с этим остро стоит проблема переработки шлаков с целью извлечения из них дополнительного количества ценных компонентов либо в случае ничтожного их содержания – с целью использования шлака в качестве строительного материала [2].

По своему составу шлаки медеплавильных предприятий весьма неоднородны и химически разнообразны из-за различий в исходном сырье, применяемых флюсуемых добавок, аппаратурного оформления и температурных режимов процессов плавки [3]. Основными компонентами шлака являются кремнезем, оксиды железа, известняк и глинозем. Наряду с этим в медных шлаках в довольно высоких пределах содержатся такие ценные компоненты, как сама медь, никель, кобальт, цинк, свинец [4].

Существуют различные методы извлечения металлов из медных шлаков, при этом особое внимание уделяется флотации [5], гидрометаллургии [6], пирометаллургии [7-9], а также комбинированным методам, сочетающим в себе приемы как пиро-, так и гидрометаллургии [10].

С целью комплексного извлечения из шлаков кремнезема, железа и цветных металлов наиболее приемлемыми

технологиями с точки зрения расхода энергии, текущих и капитальных затрат представляются гидрометаллургические процессы выщелачивания основных компонентов шлаков с выделением из растворов товарной продукции в виде кремнезема (белой сажи), железа в виде оксидов или гидратов и цветных металлов [11-12]. Кеки выщелачивания при малых содержаниях цветных металлов могут рассматриваться для применения в качестве строительных материалов. Разработка и внедрение технологий комплексной переработки шлаков позволит решить экологические проблемы накопленных шлаковых отвалов медеплавильных заводов.

### Объект и методы исследования

Объектом исследования являлись отвальные медные шлаки, отобранные из шлаковых терриконов Иртышского медеплавильного завода представителями ТОО «East Minerals Resources» (таблица 1).

По стандартным методикам исследованы химический и рентгенофазовый анализ шлаков на основе химических и минералогических анализов, а также известных данных о строении металлургических шлаков для термодинамического моделирования процессов выщелачивания рассчитан их рациональный состав (таблица 2).

Содержание серы в отвальных шлаках процессов плавки в шахтных и отражательных печах составляет примерно 0,5-1,3%. Эта сера может быть связана в виде таких сульфидов, как борнит  $Cu_5FeS_4$ , халькозин  $Cu_2S$ , троилит  $FeS$ , сфалерит  $ZnS$ .

Таблица 1

Состав отвальных шлаков Иртышского медеплавильного завода

Кесте 1

Ертіс мыс балқыту зауытының үйінді шлактарының құрамы

Table 1

The composition of the waste slag of the Irtysh Copper smelter

Содержание, %												
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	Σ	Cu	Pb	Zn
36,08	1,13	5,81	34,38	9,73	1,82	0,95	1,12	0,58	91,67	0,46	0,69	4,68

Таблица 2

Расчетный рациональный состав шлака

Кесте 2

Шлақтың есентік рационалды құрамы

Table 2

Calculated rational composition of slag

Ед. изм.	2FeO·SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	2CaO·SiO <sub>2</sub>	2MgO·SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub>	2ZnO·SiO <sub>2</sub>	
кг	42,2	1,674	14,94	2,825	1,933	1,833	7,972	
кмоль	0,207	0,0072	0,087	0,026	0,0164	0,0119	0,0564	
Ед. изм.	2PbO·SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cu <sub>2</sub> S	FeS	ZnS	Итого
кг	0,843	13,492	5,81	0,58	0,621	0,343	0,381	95,447
кмоль	0,002	0,225	0,057	0,0225	0,0039	0,0039	0,0039	

Термодинамический анализ возможных реакций взаимодействия компонентов отвальных шлаков с серной кислотой проведен на основе расчетов термодинамических характеристик в лицензионной программе фирмы Outotec Technologies HSC Chemistry ver: 8.1.5. Для расчетов энергии Гиббса, энтальпии, энтропии и константы равновесия использовали модуль программы Reaction Equations. Термодинамическое моделирование фазовых равновесий проведено с учетом рентгенофазового анализа (РФА), с применением модуля программы Equilibrium Compositions.

При термодинамическом моделировании фазовых равновесий выщелачивания отвальных медных шлаков растворами серной кислоты учитывалось, что при выщелачивании шлаков растворами серной кислоты термодинамическая система включает такие фазы, как газ – раствор – твердое. В газовой фазе присутствуют кислород, азот, при взаимодействии сульфида железа с серной кислотой возможно образование сероводорода. В растворе присутствуют сульфаты металлов, серная кислота и вода. Твердый шлак в свою очередь содержит фазы, имеющие границы раздела, и эти фазы для термодинамического моделирования можно условно разделить на сульфиды, оксиды, силикаты, сульфаты.

Для расчета равновесного состава фаз при выщелачивании шлаков приняты исходные данные, приведенные в таблице 2. Активности компонентов рассматриваемой системы приняты равными единице. Равновесные составы фаз рассчитаны при увеличении расхода серной кислоты на каждом шаге на 0,05 кмоль, количество шагов 21.

Для подтверждения результатов термодинамического моделирования проведены опыты по сернокислотному выщелачиванию проб шлаков в лабораторной мешалке. Предварительные исследования по сернокислотному вы-

щелачиванию проводились при комнатной температуре, показавшие, что в первые 10-15 минут происходит самопроизвольное повышение температуры пульпы от 20 °С до 50-60 °С за счет тепла экзотермических реакций. В связи с этим с целью сравнения показателей по выщелачиванию без подогрева дальнейшую серию опытов проводили при температуре выщелачивающего раствора 80 °С, достигаемой за счет тепла реакций и незначительного подогрева в термостате.

### Результаты и их обсуждение

Расчеты термодинамических характеристик возможных реакций

В таблицах 3-4 приведена выборка термодинамических характеристик реакций, возможных при 20 °С.

Из основных силикатов, присутствующих в медных шлаках, термодинамическая вероятность протекания реакции с серной кислотой наиболее высока для силиката кальция и, в соответствии с изменением величины изменения энергии Гиббса, снижается от силиката кальция к силикату магния.

Следует отметить, что при выщелачивании отвальных медных шлаков происходит самопроизвольный разогрев реакционной смеси от комнатной температуры до 50-60 °С, что обусловлено значениями энтальпии реакций. Как было показано выше, в отвальных медных шлаках содержатся сульфиды металлов, вследствие чего при выщелачивании без окислителя возможно выделение токсичного сероводорода за счет реакций сульфидов с кислотой. Добавление окислителя (в частности пероксида водорода) устраняет выделение сероводорода и способствует образованию сульфатов металлов (таблица 4).



**Таблица 3**  
**Реакции взаимодействия компонентов шлака с серной кислотой и значения термодинамических характеристик при 20 °С**

**Шлак компоненттерінің күкірт қышқылымен өзара әрекеттесу реакциялары және 20 °С температурадағы термодинамикалық сипаттамалардың мәні**

**Table 3**  
**Reactions of the slag components with sulfuric acid and the values of thermodynamic characteristics at 20 °C**

Реакция	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$\Delta G$ , кДж	К
$Ca_2SiO_4(жс) + 2H_2SO_4 = 2CaSO_4 + H_2SiO_3 + H_2O$	-432,248	-37,778	-421,173	1,129E+075
$Pb_2SiO_4 + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + H_2SiO_3 + H_2O$	-308,352	0,986	-308,641	9,989E+054
$Fe_2SiO_4 + 2H_2SO_4 = 2FeSO_4 + H_2SiO_3 + H_2O$	-235,948	-8,119	-233,568	4,184E+041
$Mg_2SiO_4 + 2H_2SO_4 = 2MgSO_4 + H_2SiO_3 + H_2O$	-195,898	-21,158	-189,695	6,361E+033
$Zn_2SiO_4 + 2H_2SO_4 = 2ZnSO_4 + H_2SiO_3 + H_2O$	-169,964	-20,138	-164,061	1,720E+029
$Na_2SiO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2SiO_3$	-208,385	12,440	-212,032	6,079E+037

**Таблица 4**  
**Реакции взаимодействия оксидных и сульфидных составляющих шлака с H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

**Шлақтың тотықты және сульфидті компоненттерінің H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> қышқылымен өзара әрекеттесу реакциялары**

**Table 4**  
**Reactions of the oxide and sulfide components of slag with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Реакция	$\Delta H$ , кДж	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$\Delta G$ , кДж	К
$2Cu_2O + 4H_2SO_4 + O_2(z) = 4CuSO_4 + 4H_2O$	-631,700	-300,832	-543,511	7,131E+096
$Cu_2O \cdot Fe_2O_3 + 4H_2SO_4 = 2CuSO_4 + 2FeSO_4 + 4H_2O$	-261,869	-64,873	-242,851	1,887E+043
$Cu_2S + 2,5O_2(z) + H_2SO_4 = 2CuSO_4 + H_2O$	-931,262	-497,275	-785,486	9,395E+139
$Cu_2S + H_2SO_4 = Cu_2SO_4 + H_2S(z)$	125,316	116,070	91,290	5,398E-017
$Cu_3FeS_4 + 4H_2SO_4 = 2Cu_2SO_4 + CuSO_4 + FeSO_4 + 4H_2S(z)$	342,872	395,728	226,864	3,742E-041
$FeS + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2S(z)$	-37,330	99,924	-66,623	7,449E+011
$PbS + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2S(z)$	-25,820	106,974	-57,179	1,546E+010
$ZnS + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2S(z)$	16,566	101,293	-13,128	2,185E+002
$FeS + 4H_2O_2(жс) = FeSO_4 + 4H_2O$	-1210,669	-248,907	-1137,702	5,463E+202
$PbS + 4H_2O_2(жс) = PbSO_4 + 4H_2O$	-1199,159	-241,856	-1128,259	1,134E+201
$ZnS + 4H_2O_2(жс) = ZnSO_4 + 4H_2O$	-1156,773	-247,538	-1084,208	1,602E+193

Результаты расчета равновесия выщелачивания шлака при 25 °С приведены на рисунках 1-3.

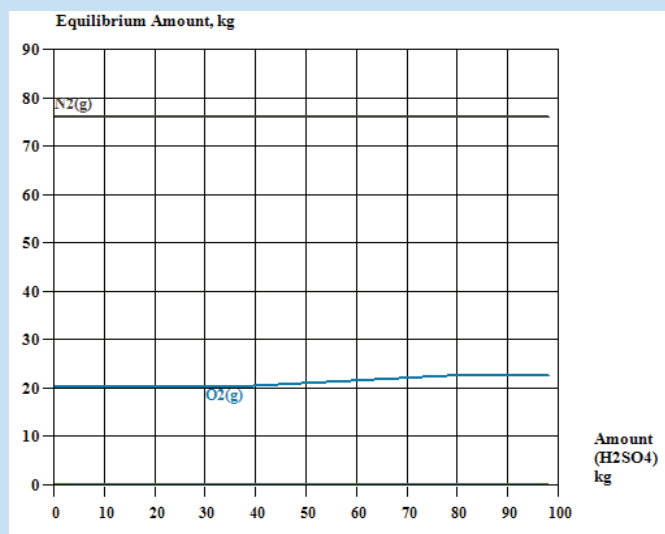
Из данных термодинамического моделирования, представленных на рис. 1а, видно, что с увеличением расхода кислоты на 100 кг шлака в газовой фазе несколько возрастает содержание кислорода. При расходе кислоты выше 40 кг на 100 кг шлака в газовой фазе появляется сероводород, содержание которого резко возрастает при расходе кислоты более 75 кг на 100 кг шлака (рис. 1б). Выделение сероводорода обусловлено реакциями взаимодействия сульфида железа и сульфида цинка с кислотой.

Из рис. 2 следует, что при выщелачивании отвальных медных шлаков растворами серной кислоты в равновесной системе при расходах кислоты до 35 кг на 100 кг шлака возрастает содержание кремнекислоты примерно от 33 до 48 кг. Содержание сульфатов щелочных металлов и сульфата магния возрастает при расходах кислоты от 0 до

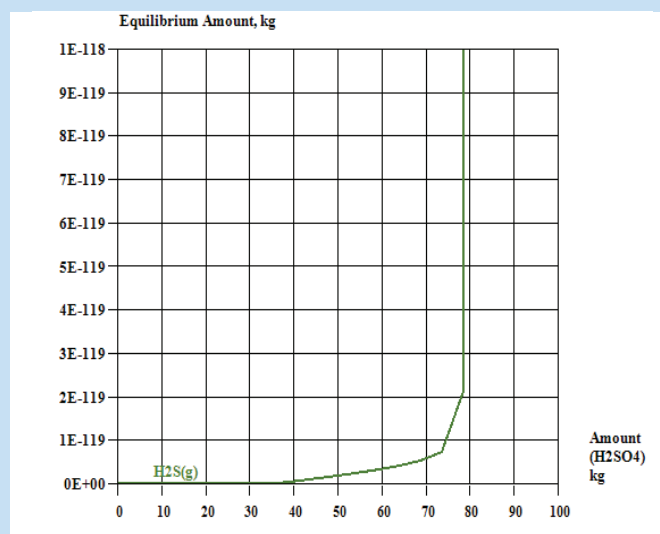
примерно 24 кг на 100 кг шлака, и для шлака принятого состава равновесное содержание сульфатов калия и магния составляет около 2 кг, для сульфата магния около 7 кг.

Сульфат цинка появляется в растворе при расходе кислоты более 20 кг, а сульфат железа при расходе кислоты более 34 кг на 100 кг шлака. При заданном расходе воды, кислоты и шлака равновесное содержание сульфата цинка составляет около 18 кг, сульфата железа около 67 кг. Избыток серной кислоты при выщелачивании достигается при расходе кислоты более 79 кг на 100 кг шлака. В раствор также переходит сульфат меди, однако из-за малого содержания меди в шлаке его содержание в растворе в виде сульфата **CuSO<sub>4</sub>** составляет примерно 0,49 кг.

Из кривых, приведенных на рис. 3, можно проследить изменение равновесного содержания компонентов в твердой фазе кека от выщелачивания. Содержание силиката кальция снижается при минимальных расходах кислоты

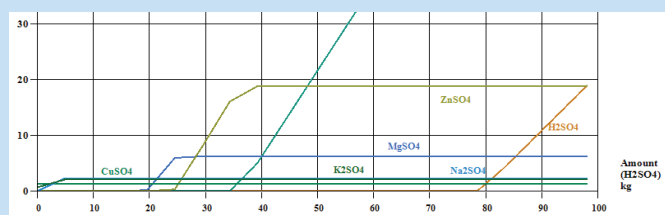


а)

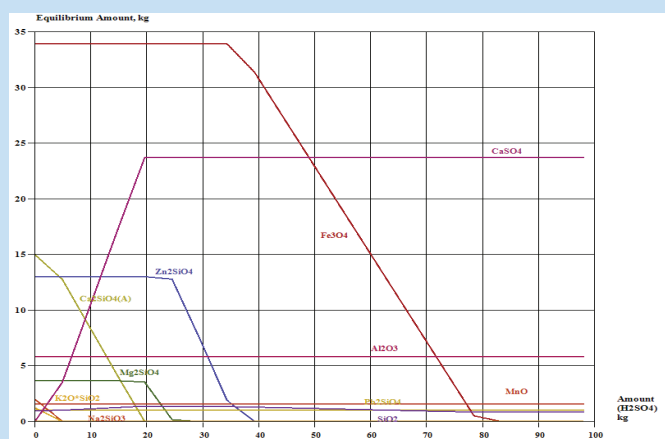


б)

**Рис. 1. Кривые изменения равновесного состава газовой фазы системы шлак –  $H_2SO_4$ .**  
**Сурет 1. Шлак –  $H_2SO_4$  жүйесінің газ фазасының тепе-теңдік құрамының өзгеру қисықтары.**  
**Figure 1. Curves of changes in the equilibrium composition of the gas phase of the slag –  $H_2SO_4$  system.**



**Рис. 2. Кривые изменения равновесного состава водной фазы системы шлак –  $H_2SO_4$ .**  
**Сурет 2. Шлак –  $H_2SO_4$  жүйесінің су фазасының тепе-теңдік құрамының өзгеру қисықтары.**  
**Figure 2. Curves of changes in the equilibrium composition of the aqueous phase of the slag –  $H_2SO_4$  system.**



**Рис. 3. Кривые изменения равновесного состава твердой фазы (кек) системы шлак –  $H_2SO_4$ .**  
**Сурет 3. Шлак –  $H_2SO_4$  жүйесіндегі қатты фазаның (кек) тепе-теңдік құрамының өзгеру қисықтары.**  
**Figure 3. Curves of changes in the equilibrium composition of the solid phase (undissolved residue) of the slag –  $H_2SO_4$  system.**

до 20 кг на 100 кг шлака. В этом же интервале расходов кислоты разлагаются силикаты щелочных металлов и магния. Силикат цинка, свинца и железа выщелачивается при расходах кислоты более 25-35 кг на 100 кг шлака.

Моделирование равновесных составов газовой фазы, получаемых растворов и кеков при различных расходах серной кислоты и изменении температуры в интервале 25-100 °С, не выявило существенного влияния температуры на равновесие, но безусловно повышение температуры влияет на скорость выщелачивания. Как указывалось выше, энтальпия большинства реакций в изучаемой системе характеризуется значительными отрицательными величинами и за счет экзотермического тепла выщелачивание можно проводить без затрат внешней энергии.

Исследования по сернокислотному выщелачиванию пробы шлака проводили в лабораторной мешалке. Предварительно проведены исследования по выщелачиванию 100 гр измельченного шлака без подогрева раствором серной кислоты концентрацией 200 г/дм<sup>3</sup> и отношением Ж:Т = 4:1. Далее с целью сравнения показателей с выщелачиванием без подогрева, 100 грамм измельченного шлака выщелачивали при температуре 80 °С раствором серной кислоты концентрацией 132 г/дм<sup>3</sup> при отношении Ж:Т = 5:1.

В первом случае извлечение в раствор составило, примерно, %: 70 Fe, 76 Cu, 59 Zn, 56 SiO<sub>2</sub>. При выщелачивании с подогревом степень извлечения металлов в раствор повысилась и составила, %: 92 Fe, 76 Cu, 93 Zn, 76 SiO<sub>2</sub>. Следовательно, при сернокислотном выщелачивании основная часть железа, меди и цинка может быть переведена в раствор, однако в раствор переходит и значительная часть кремнезема из силикатов шлака. Значительное количество кремневой кислоты, образующейся в обоих случаях, затрудняет сгущение и фильтрацию пульпы и препятствует последующему выделению извлекаемых металлов (Fe, Zn, Cu и др.) в товарные продукты и промпродукты, что требует в дальнейшем решения этой проблемы.

**Заключение**

Литературный и патентный обзор показывает, что для решения проблем переработки шлаковых отвалов медеплавильных заводов проводится большое количество исследований: предложены способы обогащения шлаков флотацией, пирометаллургические способы обеднения, гидрометаллургические технологии выщелачивания.

С целью комплексного извлечения из шлаков кремнезема, железа и цветных металлов наиболее приемлемыми технологиями с точки зрения расхода энергии, текущих и капитальных затрат представляются гидрометаллургические процессы выщелачивания шлаков с выделением из растворов товарной продукции в виде кремнезема (белой сажи), железа в виде оксидов или гидратов и цветных металлов. Кеки выщелачивания при малых содержаниях цветных металлов могут рассматриваться для применения в качестве строительных материалов.

Разработка и внедрение технологий комплексной переработки шлаков позволит решить экологические проблемы накопленных шлаковых отвалов медеплавильных заводов.

Приведены результаты термодинамического анализа и моделирования фазового равновесия процесса выщелачивания шлака растворами серной кислоты, проведены опыты по выщелачиванию шлака. Максимальная степень извлечения металлов в раствор составила, %: 92 *Fe*, 76 *Cu*, 93 *Zn*, 76 *SiO<sub>2</sub>* при температуре 80 °С, концентрации *H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>* равной 132 г/дм<sup>3</sup> и отношении Ж:Т = 5:1

Выявлены проблемы сгущения и фильтрования пульпы после выщелачивания, связанные с образованием кремниевой кислоты и при низких значениях кислотности среды (рН = 1-3) выделениям гидроксида железа – *Fe(OH)<sub>2</sub>*

**Благодарность**

*Исследования проводились в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы по программе №BR21881939 «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационно-инжинирингового центра» в НАО «КазННТУ» им. К.И. Сатпаева на кафедре «Металлургия и обогащение полезных ископаемых».*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. *Надин М. Пятак. Характеристики и экологические аспекты шлаков: обзор. / Надин М. Пятак, Майкл Б. Парсонс, Роберт Р. // Прикладная геохимия. 2015. Т. 57. С. 236-266 (на английском языке)*
2. *Кайджун Ши. Использование медных шлаков в производстве цемента и бетона. / Кайджун Ши, Кристиан Мейер, Али Бенуд. Ресурсы. // Охрана окружающей среды и вторичная переработка. 2008. Т. 52. Вып. 10. С. 1115-1120 (на английском языке)*
3. *Тина Чанда Фири. Потенциал использования медных шлаков в качестве ресурса для экономики замкнутого цикла: обзор – часть II. / Тина Чанда Фири, Притам Сингх, Александр Н. Николоски. // Разработка полезных ископаемых. 2021. Вып. 172. С. 107150 (на английском языке)*
4. *Митрашинович А.М. Возможность извлечения ценных и токсичных металлов из медного шлака с использованием железосодержащих добавок. / А.М. Митрашинович, Ю. Юанькунь, С. Стопич, М. Радосавлевич. // Металлы. 2023. Т. 13. С. 1467 (на английском языке)*
5. *Извлечение меди из плавильного шлака методом флотации. В книге «Применение принципов технологического проектирования в обработке материалов, энергетических и экологических технологиях». / Фань Дж., Ли Х., Вэй Л., Ли К., Сун С. Международное издательство «Шпрингер», 2017, 231-237 с. (на английском языке)*
6. *Ананд С. Выщелачивание медного конвертерного шлака под давлением с использованием разбавленной серной кислоты для извлечения кобальта, никеля и меди. / С. Ананд, Сарвешвара К. Рао, П.К. Йена. // Гидрометаллургия. 1983. Т. 10. Вып. 3. С. 305-312 (на английском языке)*
7. *Сарфо П. Карботермическое восстановление шлака медеплавильного завода для переработки в чугун и стекло. / П. Сарфо, Г. Висс, Г. Ма, А. Дас, С. Янг. // Разработка полезных ископаемых. 2017. Т. 107. С. 8-19 (на английском языке)*
8. *Эрденеболд У. Извлечение чугуна из медеплавильного шлака восстановительной плавкой. / У. Эрденеболд, Х.М. Чой, Дж.П. Ванг. // Архив металлургии и материалов, Варшава. 2018. Т. 63. Вып. 4. С. 1793-1798 (на английском языке)*
9. *Маткаримов С.Т. Исследование возможности получения железосодержащих сплавов из шлаков медного производства. / С.Т. Маткаримов, Б.Т. Бердияров, Ш.А. Мухаметджанова. // Цветные металлы. 2023. №9. С. 31-36 (на русском языке)*
10. *Арслан С. Извлечение меди, кобальта и цинка из медеплавильных и конвертерных шлаков. / С. Арслан, Ф. Арслан. // Гидрометаллургия. 2002. Т. 67. Вып. 1-3. С. 1-7 (на английском языке)*
11. *Банза А.Н. Извлечение цветных металлов из шлака медеплавильного завода путем окислительного выщелачивания и экстракции растворителем. / А.Н. Банза, Э. Гоц, К. Конголо. // Гидрометаллургия. Т. 67. Вып. 1-3. С. 63-69 (на английском языке)*

12. Урошевич Д.М. и др. Извлечение меди из медных шлаков и хвостов флотации медных шлаков окислительным выщелачиванием. // Физико-химические проблемы переработки полезных ископаемых. 2015. Т. 51. С. 73-82 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Надин М. Пятак. Шлактардың сипаттамалары мен экологиялық аспектілері: шолу. / Надин М. Пятак, Майкл Б. Парсонс, Роберт Р. Сил. // Қолданбалы геохимия. 2015. Т. 57. Б. 236-266 (ағылшын тілінде)
2. Кайджун Ши. Мыс шлактарын цемент пен бетон өндірісінде қолдану. / Кайджун Ши, Кристиан Мейер, Али Бенуд. // Ресурстар, қоршаған ортаны қорғау және қайта өңдеу. 2008. Т. 52. Шығ. 10. Б. 1115-1120 (ағылшын тілінде)
3. Тина Чанда Фири. Мыс шлактарының айналмалы экономика үшін ресурс ретіндегі әлеуеті: шолу – II-ші бөлім. / Тина Чанда Фири, Притам Сингх, Александр Н. Николоски. // Пайдалы қазбалар инженериясы. 2021. Т. 172. Б. 107150 (ағылшын тілінде)
4. Митрашинович А.М. Құрамында темір бар қоспаларды пайдалана отырып, мыс шлактарынан құнды және улы металдарды алу мүмкіндігі. / А.М. Митрашинович, Ю. Юанькунь, С. Стопич, М. Радосавлевич. // Металдар. 2023. Т. 13. Б. 1467 (ағылшын тілінде)
5. Флотация әдісімен балқыту шлактарынан мысты алу. «Материалдарды өңдеуде, энергетикалық және экологиялық технологияларда технологиялық жобалау принциптерін қолдану» кітабында. / Фань Дж., Ли Х., Вэй Л., Ли К., Сун С. «Шпрингер» халықаралық баспасы, 2017, 231-237 б. (ағылшын тілінде)
6. Ананд С. Кобальт, никель және мыс алу үшін сұйылтылған күкірт қышқылын пайдаланып, мысты конвертерлі шлақты қысыммен шаймалау. / С. Ананд, Сарвешвара К. Рао, П.К. Йена. // Гидрометаллургия. 1983. Т. 10. Шығ. 3. Б. 305-312 (ағылшын тілінде)
7. Сарфо П. Шойын мен әйнекке өңдеу үшін мыс балқыту зауытының шлактарын карботермиялық тотықсыздандыру. / П. Сарфо, Г. Висс, Г. Ма, А. Дас, С. Янг. // Пайдалы қазбалар инженериясы. 2017. Т. 107. Б. 8-19 (ағылшын тілінде)
8. Эрденеболд У. Тотықсыздандырып балқыту әдісімен мыс балқыту шлактарынан шойынды алу. / У. Эрденеболд, Х.М. Чой, Дж.П. Ванг. // Metallurgy және материалдар мұрағаты, Варшава. 2018. Т. 63. Шығ. 4. Б. 1793-1798 (ағылшын тілінде)
9. Маткаримов С.Т. Мыс өндірісінің шлактарынан құрамында темір бар қорытпаларды алу мүмкіндігін зерттеу. / С.Т. Маткаримов, Б.Т. Бердияров, Ш.А. Мухаметджанова. // Түсті металдар. 2023. №9. Б. 31-36 (орыс тілінде)
10. Арслан С. Мыс балқыту және конвертерлі шлактардан мыс, кобальт және мырышты алу. / С. Арслан, Ф. Арслан. // Гидрометаллургия. 2002. Т. 67. Шығ. 1-3. Б. 1-7 (ағылшын тілінде)
11. Банза А.Н. Мыс балқыту зауытының шлактарынан түсті металдарды тотықтырып шаймалау және еріткішпен экстракциялау арқылы алу. / А.Н. Банза, Э. Гоц, К. Конголо. // Гидрометаллургия. 2002. Т. 67. Шығ. 1-3. Б. 63-69 (ағылшын тілінде)
12. Урошевич Д.М. және басқалары. Мыс шлактары мен мыс шлактары флотациясының қалдықтарынан мысты тотықтырып шаймалау арқылы алу. // Пайдалы қазбаларды өңдеудің физика-химиялық мәселелері. 2015. Т. 51. Б. 73-82 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Nadine M. Piatak. Characteristics and environmental aspects of slag: A review. / Nadine M. Piatak, Michael B. Parsons, Robert R. // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 236-266 (in English)
2. Caijun Shi. Utilization of copper slag in cement and concrete. / Caijun Shi, Christian Meyer, Ali Behnood. // Resources, Conservation and Recycling. 2008. Vol. 52. Issue 10. P. 1115-1120 (in English)
3. Tina Chanda Phiri. The potential for copper slag waste as a resource for a circular economy: A review – Part II. / Tina Chanda Phiri, Pritam Singh, Aleksandar N. Nikoloski. // Minerals Engineering. 2021. Vol. 172. P. 107150 (in English)
4. Mitrašinić A.M. Feasibility of Recovering Valuable and Toxic Metals from Copper Slag Using Iron-Containing Additives. / Mitrašinić A.M.; Yuankun Y.; Stopic S.; Radosavljević M. // Metals. 2023. Vol. 13. P. 1467 (in English)
5. The Recovery of Copper from Smelting Slag by Flotation Process, In book: Applications of Process Engineering Principles in Materials Processing, Energy and Environmental Technologies. / Fan J., Li H., Wei L., Li C., Sun S. Springer International Publishing, 2017, 231-237 p. (in English)
6. Anand S. Pressure leaching of copper converter slag using dilute sulphuric acid for the extraction of cobalt, nickel and copper values. / Anand S., Sarveswara K. Rao, Jena P.K. // Hydrometallurgy. 1983. Vol. 10. Issue 3. P. 305-312 (in English)

7. Sarfo P. Carbothermal reduction of copper smelter slag for recycling into pig iron and glass. / Sarfo P., Wyss G., Ma G., Das A., Young C. // *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 107. P. 8-19 (in English)
8. Erdenebold U. Recovery of pig iron from copper smelting slag by reduction smelting. / Erdenebold U., Choi H.M., Wang J.P. // *Archives of Metallurgy and Materials, Warsaw*. 2018. Vol. 63. Issue 4. P. 1793-1798 (in English)
9. Matkarimov S.T. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya zhelezosoderzhashchikh splavov iz shlakov mednogo proizvodstva. / S.T. Matkarimov, B.T. Berdiyarov, Sh.A. Mukhametdzhanova. // *Tsvetnye metally*. 2023. №9. S. 31-36 [Matkarimov S.T. Investigation of the possibility of obtaining iron-containing alloys from copper production slags. / Matkarimov S.T., Berdiyarov B.T., Mukhametdzhanova S.A. // *Non-ferrous metals*. 2023. №9. P. 31-36] (in Russian)
10. Arslan C. Recovery of copper, cobalt, and zinc from copper smelter and converter slags. / Arslan C., Arslan F. // *Hydrometallurgy*. 2002. Vol. 67. Issues 1-3. P. 1-7 (in English)
11. Banza A.N. Base metals recovery from copper smelter slag by oxidising leaching and solvent extraction. / Banza A.N., Gock E., Kongolo K. // *Hydrometallurgy*. 2002. Vol. 67. Issues 1-3. P. 63-69 (in English)
12. Urosevic D.M. et al. Recovery of copper from copper slag and copper slag flotation tailings by oxidative leaching. // *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2015. Vol. 51. P. 73-82 (in English)

**Сведения об авторах:**

**Баимбетов Б.С.**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [b.baimbetov@satbayev.university](mailto:b.baimbetov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>

**Тажиев Е.Б.**, доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [y.tazhiyev@satbayev.university](mailto:y.tazhiyev@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-1955-8584>

**Молдабаева Г.Ж.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [gulnara.moldabayeva@satbayev.university](mailto:gulnara.moldabayeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-3716-213X>

**Даулетбакова А.А.**, магистр технических наук, инженер кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [a.dauletbakova@satbayev.university](mailto:a.dauletbakova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-6220-6387>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Баимбетов Б.С.**, техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Тажиев Е.Б.**, PhD докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға оқушысы (Алматы қ., Қазақстан)

**Молдабаева Г.Ж.**, техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Даулетбакова А.А.**, техника ғылымдарының магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының инженері (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Baimbetov B.S.**, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

**Tazhiyev Ye.B.**, Doctor of PhD, Senior lecturer of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

**Moldabayeva G.Zh.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

**Dauletbakova A.A.**, Master of Technical Sciences, engineer of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.37.13

\*T.A. Chepushtanova, S.B. Yulusov, J.M. Yespenova, A.S. Tulegenov

*Department of «Metallurgical processes, heat engineering and technology of special materials», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)*

## DEVELOPMENT OF A PROCESS FOR THE PRODUCTION OF HARD SOLID NANOPHERS (Fe-Co) FROM COMPLEX BLACK SLATE SOURCE

**Abstract.** The paper presents the results of developing a method for producing nanopowder (Fe-Co) in the form of a solid solution by precipitation from vanadium-containing raw materials of the hydrometallurgical plant Balausa Firm LLP. Solutions obtained by leaching black shale ores with an iron content of up to 4-6% to obtain iron-containing powders were studied. X-ray phase analysis has established that the initial iron content of 2 to 6% is sufficient for applying the scheme for extracting iron sulfate and obtaining powders based on it from solutions obtained by leaching black shale ores. By the results of electron microscopy analysis, was established that the size of crystallites in the resulting powders (Fe-Co) is 30-50 nm and that of their agglomerates is 100-200 nm.

**Key words:** black shale ores, vanadium-containing solutions, leaching, precipitation, iron-cobalt solid solution.

### Күрделі қара сақтас шикізатынан қатты ерітімдердің (Fe-Co) наноұнтақтарын алу әдісін әзірлеу

**Аннотация.** Мақалада «Балауса Фирма» ЖШС гидрметаллургиялық зауытының құрамында ванадий бар шикізаттан тұндыру арқылы қатты ерітінді түріндегі наноұнтақ (Fe-Co) алу әдісін әзірлеу нәтижелері берілген. Құрамында темірі бар ұнтақтарды алу үшін құрамында темірі 4-6%-ға дейінгі қара тақтатас кендерін шаймалау арқылы алынған ерітінділер зерттелді. Рентгендік фазалық талдау темір сульфатын алу және оның негізіндегі ұнтақтарды қара тақтатас кендерін шаймалау арқылы алынған ерітінділерден алу схемасын қолдану үшін бастапқы темірдің 2-ден 6%-ға дейін жеткілікті екенін анықтады. Электрондық микроскопияның көмегімен алынған ұнтақтардың (Fe-Co) құрамындағы кристаллиттер мөлшері 30-50 нм, ал олардың агломераттары 100-200 нм болатыны анықталды.

**Түйінді сөздер:** қара тақтатас кендері, құрамында ванадий бар ерітінділер, шаймалау, тұндыру, темір-кобальт қатты ерітіндісі.

### Разработка способа получения нанопорошков твердых растворов (Fe-Co) из комплексного черносланцевого сырья

**Аннотация.** В статье приведены результаты разработки способа получения нанопорошка (Fe-Co) в виде твердого раствора методом осаждения из ванадий-содержащего сырья гидрметаллургического завода ТОО «Фирма «Балауса». Исследовались растворы, полученные при выщелачивании черносланцевых руд с содержанием железа до 4-6% для получения железосодержащих порошков. Рентгенофазовым анализом установлено, что исходное содержание железа от 2 до 6% является достаточным для применения схемы извлечения сульфата железа и получения порошков на его основе из растворов, полученных при выщелачивании черносланцевых руд. Методом электронной микроскопии установлено, что размеры кристаллитов в полученных порошках (Fe-Co) составляют 30-50 нм и их агломератов 100-200 нм.

**Ключевые слова:** черносланцевые руды, ванадийсодержащие растворы, выщелачивание, осаждение, твердый раствор железо-кобальт.

### Introduction

Over the past few years, there has been a rapid development of the metal products market around the world. The average annual growth rate of metal products production is about 10-12%. This is mainly due to the development of production in Asian countries, and, above all, in China. Simultaneously with the growth in consumption of rolled steel and other metallurgical products, the demand for special alloy steels and alloying elements, one of which is vanadium, has increased. About 87% of vanadium from total production is used in ferrous metallurgy as an effective alloying additive in the production of steels of various grades. The raw material from which vanadium is extracted is interesting and promising from the point of view of complex processing. The main raw material for the extraction of vanadium in Kazakhstan is black shale ores of complex composition and double resistance. It is promising to obtain iron-containing products from this type of raw material in the form of reduced iron and iron nanostructured powders [1].

One of the main methods of vanadium extraction from black shale ores is sintering [1]. High temperatures activate chemical reactions and convert vanadium into an easily soluble form. The optimum temperature for sintering with soda is about 900-1000 °C and with sodium chloride about 700-800 °C. In industrial applications of the process, the ratio of soda or sodium chloride to ore is an important parameter. The optimum ratio of soda to ore is about 1:1. If the amount of soda or sodium chloride is too high, insoluble compounds may be formed and the efficiency of the process may be reduced [2, 3].

Leaching methods are also widely used for vanadium recovery. Sulfuric acid can be used for vanadium leaching at

high temperatures and long-time intervals. In a study [4] from black shale ores, vanadium recovery in solution was 85%. Scientists are working on improving vanadium leaching technologies using sulfuric acid. One of the new developments is the use of sulfuric acid and hydrogen peroxide [5]. In this experiment, the extraction of vanadium into solution was 92%. The use of sulfuric acid and sodium chloride is also practiced [6], according to the authors' data, because of vanadium leaching the extraction into solution amounted to 90%. In general, the use of concentrated sulfuric acid at high temperatures and longtime intervals can achieve high extraction of vanadium into solution. The technology of heap sulfuric acid leaching of black shale ores allows to extract vanadium from ores with low concentration and obtain a satisfactory degree of extraction. Work [7-9] provides data on the degree of extraction of vanadium under different experimental conditions, for example, at a concentration of sulfuric acid 2% extracted about 45% of vanadium. World data confirm the effectiveness of sulfuric acid leaching for the recovery of metals, including vanadium, from black shale ores.

One of the most common methods of sorptive extraction of vanadium from sulfate productive leaching solutions of black shale ore is based on the use of anionite [10]. The combination of extractants based on ketones and other extractants was also investigated. It was shown that at optimum values of pH and extraction duration it was possible to extract about 94% of vanadium without significant co-extraction of other metals. However, it is also of interest to obtain by-products of vanadium extraction, such products are the production of iron powders, because the solutions from leaching are rich in iron [9, 11].

The aim of the research is to obtain nanopowders of iron-cobalt solid solution (*Fe-Co*) from vanadium leaching solutions. Such powders can be used in the production of magnetic carriers, as permanent magnets, in the production of sensors, in medicine and biology (carriers of drugs for delivery to the desired target organ using a magnetic field, magnetic resonance imaging, etc.) and for magnetochemical separation of radioactive and hazardous waste from nuclear power.

### Materials and methods of research

#### Starting materials

The objects of the study were representative samples of vanadium-containing raw materials of the hydrometallurgical plant «Firma «Balausa» LLP, which were analyzed by chemical, X-ray phase, X-ray spectral, mineralogical and thermogravimetric methods of analysis.

Chemical analysis showed that polymetallic vanadium bearing ores contain %:  $V_2O_5$  – 0,89;  $MoO_3$  – 0,036;  $U_3O_8$  – 0,018; Rare-earth elements – 0,069;  $TiO_2$  – 0,250;  $WO_3$  – 0,036;  $Al_2O_3$  – 3,79;  $Fe_2O_3$  – 2,07;  $K_2O$  – 1,18;  $CaO$  – 0,383;  $SiO_2$  – 72,54;  $Na_2O$  – 0,0732;  $P_2O_5$  – 1,150,  $C$  – 17,891.

The initial raw material for production of iron-containing powders will be solutions obtained during leaching of black shale ores with iron content up to 6%. The composition of black shale ore leaching solutions is as follows, g/dm<sup>3</sup>:  $Fe^{2+}$  – 1,6;  $Fe^{3+}$  – 6,4;  $Al$  – 9,05;  $V_{gen}$  – 2,78;  $Mo$  – 0,044;  $U$  – 0,019; Rare-earth elements – 0,075;  $K$  – 2,4, all elements are in solution as sulfates.

#### Research Methods

Iron sulfate was isolated from the solution by the method of chemical precipitation, then iron sulfate was prepared in the form of  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ . This compound is well soluble in water. To obtain a solid solution of nanosized powder (*Fe-Co*), the following is carried out: a solution of salts of iron sulfate

heptahydrate and cobalt chloride hexahydrate was prepared, then heated and precipitated with alkali metals in the form of iron and cobalt hydroxides with continuous stirring, during stirring precipitation was carried out by introducing 22-28 g of dry sodium hydroxide into the solution of metal salts, after which 22-42 ml of a solution of 67 wt. % hydrazine hydrate and cobalt hydroxide was added to the solution. % hydrazine hydrate and incubated for 3-18 minutes. Iron sulfate and cobalt chloride hydrates were used as iron and cobalt salts. Before precipitation, the solution of iron and cobalt salts was heated to 82-92 °C. Solutions of iron and cobalt salts were prepared in the following ratio, wt. %: iron 72-33, cobalt 32-72. The technique offers the possibility of obtaining nanosized mono-phase powder of *Fe-Co* solid solution by reduction of metal salts from aqueous solutions under certain conditions. This technique is fast and hardware uncomplicated without additional input of equipment in the technological process, while highly energy-efficient process. Electron-microscopic studies were carried out on the analyzer JEOL ISM – 25S 3, + 70-100 microns, magnification x1500.

X-ray phase and X-ray diffraction analysis was performed on (DRON-3 machine, Broker Advance D8).

Thermal analysis was performed on an analyzer combined with a mass spectrometer NETZSCH STA 449 PC/PG QMS.

### Results and their discussion

The method for producing the powder (*Fe-Co*) included preparing a stock solution containing 2.9873 g of iron sulfate, 5.6550 g of  $CoCl_2$  hexahydrate and 75 mL of  $H_2O$ . This was followed by stirring with a mechanical stirrer (30-35 rpm). The prepared solution of *Fe* and *Co* salts was heated in a desiccator to 80 °C. Then 25 g of dry sodium hydroxide was added under constant stirring to precipitate *Fe* and *Co* metal hydroxides. After stirring for 10-15 sec, 25 mL of hydrazine hydrate solution was added to the mixture, having previously

Table 1

#### Preparation results and dispersibility of iron-cobalt nanoscale powder

Кесте 1

#### Нановлашымді темір-кобальт ұнтағын өндіру және дисперстілігінің нәтижелері

Таблица 1

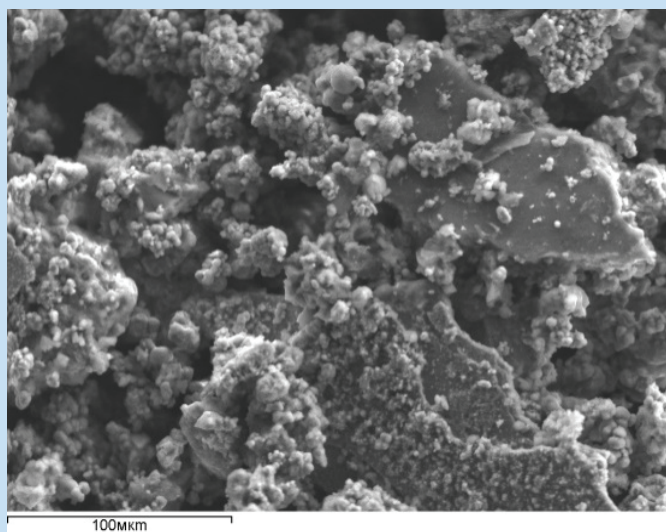
#### Результаты получения и дисперсность наноразмерного порошка железо-кобальт

№	Composition of nano-powder, mass. %	Starting salts, y		Reagent 1 $H_2O$ , ml	Reagent 2 $NaOH$ , g	Reagent 3 $N_2H_4$ , ml	T Recovery, °C	Dispersibility, nm
		m1 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	m2 $CoCl_2 \cdot 6H_2O$					
1	30Fe-70Co	2,9988	5,6451	75	25	25	80	30-50
2	30Fe-70Co	2,9988	5,6451	90	25	50	80	30-50
3	40Fe-60Co	3,9885	4,8752	90	20	20	80	30-50
4	40Fe-60Co	3,9885	4,8752	60	25	40	80	30-50
5	50Fe-50Co	4,9785	4,0296	80	25	20	80	30-50
6	50Fe-50Co	4,9785	4,0296	60	20	40	80	30-50
7	60Fe-40Co	5,9823	3,2136	85	15	15	80	30-50
8	60Fe-40Co	5,9823	3,213	80	25	20	80	30-50
9	70Fe-30Co	6,9703	2,4163	50	35	25	90	30-50
10	70Fe-30Co	6,9703	2,4163	85	20	15	90	30-50

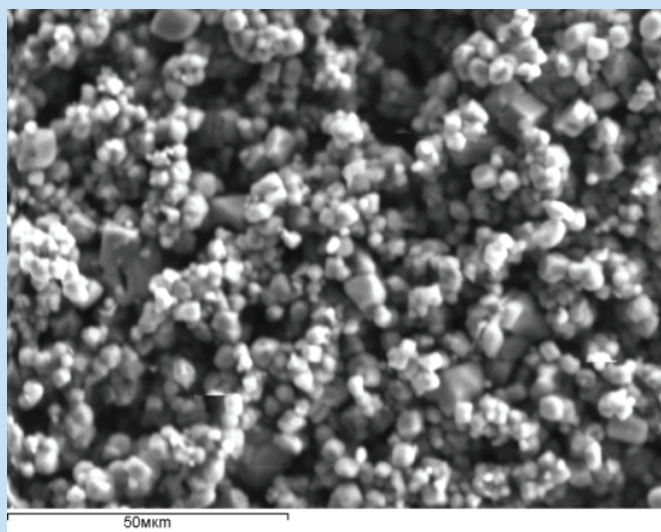
stopped heating the reaction mixture. Under constant stirring for 10 min throughout the volume, the formation of iron-cobalt nanodispersed particles was recorded. After settling the obtained mixture was filtered. The resulting black precipitate was washed with distilled water and then isopropyl alcohol to remove the volatile by-products of the reaction. Next, the nanosized powder (*Fe-Co*) was dried under low vacuum (10-2 mmHg) at 40-50 degrees Celsius for one hour. The storage of powders was carried out in a bouquet without access to air, which was placed in an exicator with  $P_2O_5$ . It was found that in the volume of the mixture uniformly formed nanodispersed particles of *Fe* and *Co*, the formation of which was record-

ed visually. Such uniform formation of nanoparticles in the volume of the obtained mixture stimulates the reduction of dispersibility of *Fe-Co* powders. The results of the studies of the proposed method for obtaining solid solutions of nano-sized iron-cobalt powder in the concentration range *Fe(100-x)Co(x)*, where x is from 30 to 70%, are introduced in Table 1.

The sizes of nanoparticles were determined by electron microscopic spectroscopy (JEOL JSM 6390 scanning electron microscope). It was determined that in the whole range of compositions of *Fe-Co* nanosized powders the particle sizes vary very slightly: the size of crystallites 30-50 nm and their agglomerates 100-200 nm, Figure 1.



a) 100 mkm



b) 50 mkm

**Figure 1. Results of electron microscopic spectroscopy of *Fe-Co* powder.**

**Сурет 1. *Fe-Co* ұнтағының электронды микроскопиялық спектроскопиясының нәтижелері.**

**Рис. 1. Результаты электронно-микроскопической спектроскопии порошка *Fe-Co*.**

### Conclusions

The method of obtaining nanopowder (*Fe-Co*) in the form of solid solution by precipitation method from vanadium-containing raw materials – vanadium hydrometallurgical solutions has been developed. The method of iron sulfate precipitation and the sequence of operations for obtaining iron sulfate heptahydrate and cobalt chloride hexahydrate to obtain iron-cobalt nanopowder in the form of solid solution were developed. By the method of electron microscopy it was found that the size of crystallites in the obtained powders (*Fe-Co*) is 30-50 nm and their agglomerates 100-200 nm.

By the method of X-ray phase and X-ray structural analysis it is established that in the mixture of cobalt content 35-65 wt. % *Co* (iron 65-35 wt. % *Fe*) compositions are monophase, the

structure contains metallic phases. By the method of thermal analysis combined with QMS mass spectrometer it was established that the *Fe-Co* powder is a solid solution, the decomposition mechanism of which corresponds to the decomposition of the structure of similar compounds.

### Acknowledgement

*The research was carried out with the financial support of the Committee of Science of MES RK Grant PCF IRN BR21881939 «Development of resource-saving energy-generating technologies for mining and metallurgical complex and creation of innovative engineering center», section 6 «Development of combined technology for processing of vanadium-containing raw materials to produce concentrates of rare metals».*

### REFERENCES

1. Kenzhaliyev B.K. Black shale ore of Big Karatau is a raw material source of rare and rare earth elements. / B.K. Kenzhaliyev, T.Yu. Surkova, M.N. Azlan, S.B. Yulusov, B.M. Sukurov, D.M. Yessimova. // Hydrometallurgy. 2021. Vol. 205 (in English)
2. Xinran Zhu. Vanadium extraction from V-bearing shale using oxidation roasting and acid leaching. / Xinran Zhu, Zhenya Zhou, Jianping Jin, Yanjun Li, Yuexin Han. // Minerals Engineering. 2023. Vol. 192 (in English)



3. Qiushi Zheng. Enhancing effect of vanadium releasing efficiently from lattice in black shale by thermal activation. / Qiushi Zheng, Yimin Zhang, Nannan Xue. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. Vol. 651 (in English)
4. Faure L. Synthesis of  $TiO(OH)_2$  precursor for low temperature sintering: A chemical and microstructural study. / L. Faure, F. Molinari, M. Carfantan, M. Maglione, M. Josse. // *Ceramics International*. 2023. Vol. 49. P. 28337-28343 (in English)
5. Balaji J. Sol-gel based hybrid silane coatings for enhanced corrosion protection of copper in aqueous sodium chloride. / Balaji J., Roh S.H., Edison T.N., J. I., Jung H.Y., Sethuraman M.G. // *Journal of Molecular Liquids*. 2020 (in English)
6. Baklanova I.V. Prekursornaya tekhnologiya proizvodstva belykh i tsvetnykh lyuminoforov na osnove  $Al_2O_3:Ln$  ( $Ln = Eu^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$  ili  $Eu^{3+}/Tb^{3+}$ ). / Baklanova I.V., Krasil'nikov V.N., Tyutyunnik A. P., Baklanova Yu.V. // *Zhurnal khimii tverdogo tela*. 2020. S. 292 [Baklanova I.V. Precursor technology for the production of white and color phosphors based on  $Al_2O_3:Ln$  ( $Ln = Eu^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$  or  $Eu^{3+}/Tb^{3+}$ ). / Baklanova I.V., Krasil'nikov V.N., Tyutyunnik A.P., Baklanova Y.V. // *Journal of Solid State Chemistry*. 2020] (in Russian)
7. Hoque M.A. Fabrication and comparative study of magnetic Fe and  $\alpha-Fe_2O_3$  nanoparticles dispersed hybrid polymer (PVA + Chitosan) novel nanocomposite film. / Hoque M.A., Ahmed M.R., Rahman G.T., Rahman M.T., Islam M.A., Khan M.A., Hossain M.K. // *Results in Physics*. 2018. 10. P. 434-443 (in English)
8. Nadar A. Nanostructured  $Fe_2O_3$  dispersed on  $SiO_2$  as catalyst for high temperature sulfuric acid decomposition. Structural and morphological modifications on catalytic use and relevance of  $Fe_2O_3-SiO_2$  interactions. / Nadar A., Banerjee A.M., Pai M.R., Meena S.S., Pai R.V., Tewari R., Bharadwaj S.R. // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2017. 217. P. 154-168 (in English)
9. Nishitsuji J. Magnetic Properties of Fe-Mn-Ni Powders Prepared by Hydrogen Reduction of Wet-Synthesized Ferrite Nanopowders. / Nishitsuji J., Okazaki R., Abe S., Akamatsu. // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2023. Vol. 59 (11) (in English)
10. Komekova N.M. Avtoklavnoe vyshchelachivanie vanadiya iz chernykh slantsev. / N.M. Komekova, V.A. Kozlov, K.M. Smirnov i dr. // *Metallurg*. 2017. 60. S. 1186-1190 [Komekova N.M. Autoclave Leaching of Vanadium from Black Shale. / Komekova N.M., Kozlov V.A., Smirnov K.M. et al. // *Metallurgist*. 2017. 60. P. 1186-1190] (in Russian)
11. Motovilov Y. Oxide powders production from iron chloride. / Motovilov Y., Luganov V.A., Mishra B., Chepushtanova T.A. // *CIS Iron and Steel Review*. 2018. P. 28-32 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кенжалиев Б.Қ. Үлкен Қаратаудың қара тақтатас кені – сирек және сирек жер элементтерінің шикізат көзі. / Б.Қ. Кенжалиев, Т.Ю. Суркова, М.Н. Азлан, С.Б. Юлусов, Б.М. Сукуров, Д.М. Есімова. // *Гидрометаллургия*. 2021. Т. 205 (орыс тілінде)
2. Синрань Жу. Тотығумен күйдіру және қышқылмен шаймалау арқылы V-тәрізді тақтатастардан ванадийді алу. / Синрань Жу, Женя Чжоу, Цзяньпин Цзинь, Янцзюнь Ли, Юэксин Хан. // *Minerals Engineering*. 2023. Т. 192 (ағылшын тілінде)
3. Цюши Чжэн. Термиялық активтендіру арқылы қара тақтатастағы тордан тиімді түрде ванадий бөлінуінің әсерін күшейту. / Цюши Чжэн, Имин Чжан, Нанан Сюэ. // *Коллоидтар және беттер А: Физикохимиялық және инженерлік аспектілер*. 2022. Т. 651 (ағылшын тілінде)
4. Фор Л. Төмен температурада агрегациялау үшін  $TiO(OH)_2$  прекурсорының синтезі: Химиялық және микроқұрылымдық зерттеу. / Л. Фор, Ф. Молинари, М. Карфантан, М. Маггионе, М. Хоссе. // *Ceramics International*. 2023. Шығ. 49. Б. 28337-28343 (ағылшын тілінде)
5. Баладжи Дж. Сулы натрий хлоридіндегі мысты тоттанудан қорғауды жақсарту үшін золь-гель негізіндегі гибриділі силан жабындары. / Дж. Баладжи, С.Х. Рох, Т.Н. Эдисон, И. Дж., Х.Й. Юнг, М.Г. Сетураман. // *Молекулалық сұйықтықтар журналы*. 2020 (ағылшын тілінде)
6. Бакланова И.В.  $Al_2O_3$  негізіндегі ақ және түсті люминофорларды алудың прекурсорлық технологиясы:  $Ln$  ( $Ln = Eu^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$  немесе  $Eu^{3+}/Tb^{3+}$ ). / И.В. Бакланова, В.Н. Красильников, А.П. Тютюнник, Ю.В. Бакланова. // *Қатты дене химиясының журналы*. 2020 (орыс тілінде)
7. Хоке М.А. Магниттік Fe және  $\alpha-Fe_2O_3$  нанобөлшектерінің дисперсті гибриділі полимерін (PVA + хитозан) жаңа нанокөпозиттік пленканы жасау және салыстырмалы зерттеу. / М.А. Хоке, М.Р. Ахмед, Г.Т. Рахман, М.Т. Рахман, М.А. Ислам, М.А. Хан, М.К. Хоссейн. // *Физикадағы нәтижелер*. 2018. 10. Б. 434-443 (ағылшын тілінде)
8. Надар А. Күкірт қышқылының жоғары температурада ыдырауы үшін катализатор ретінде  $SiO_2$ -де дисперсті нанокұрылымды  $Fe_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$  әрекеттесулерінің каталитикалық қолданылуына қатысты құрылымдық және морфологиялық модификациялар. / Надар А., Банерджи А.М., Пай М.Р., Мина С.С., Пай Р.В., Тевари Р., Бхарадвадж С.Р. // 2017. 217. Б. 154-168 (ағылшын тілінде)
9. Нишицудзи Дж. Ылғалды синтезделген феррит нанопырақтарының сутегінің төмендеуімен дайындалған Fe-Mn-Ni ұнтақтарының магниттік қасиеттері. / Нишицудзи Дж., Оказаки Р., Абе С., Акамацу // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2023. Vol. 59 (11) (ағылшын тілінде)

10. Коменкова Н.М. Қара тақтатастағы ванадийді автоклавпен сілтілеу. / Коменкова Н.М., Козлов В.А., Смирнов К.М. және т.б. // *Металлург.* 2017. 60. Б. 1186-1190 (орыс тілінде)
11. Мотовилов Ю. Темір хлоридінен оксидті ұнтақтарды өндіру. / Ю. Мотовилов, В.А. Луганов, Б. Мишра, Т.А. Чепуштанова. // *ЦИС айрон және стил шолуы.* 2018. 15. Б. 28-32 (ағылшын тілінде)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кенжалиев Б.К. Черносланцевая руда Большого Каратау – сырьевая база редких и редкоземельных элементов. / Кенжалиев Б.К., Суркова Т.Ю., Азлан М.Н., Юлусов Б.М., Сукуров Д.М. // *Гидрометаллургия.* 2021. Т. 205 (на русском языке)
2. Синьран Чжу. Извлечение ванадия из V-содержащих сланцев с использованием окислительного обжига и кислотного выщелачивания. / Синьран Чжу, Женья Чжоу, Цзяньпин Цзинь, Яньцзюнь Ли, Юэсинь Хань. // *Minerals Engineering.* 2023. Т. 192 (на английском языке)
3. Цюши Чжэн. Усиление эффекта эффективного высвобождения ванадия из решетки черного сланца путем термической активации. / Цюши Чжэн, Иминь Чжан, Наньнань Сюэ. // *Коллоиды и поверхности А: Физико-химические и инженерные аспекты.* 2022. Т. 651 (на английском языке)
4. Фор Л. Синтез предшественника  $TiO(OH)_2$  для низкотемпературного спекания: химическое и микроструктурное исследование. / Л. Фор, Ф. Молинари, М. Карфантан, М. Маглионе, М. Жоссе. // *Ceramics International.* 2023. Вып. 49. С. 28337-28343 (на английском языке)
5. Баладжи Дж. Золь-гель гибридные силановые покрытия для усиленной защиты меди от коррозии в водном растворе хлорида натрия. / Дж. Баладжи, С.Х. Ро, Т.Н. Эдисон, И. Дж., Х.Ю. Юнг, М.Г. Сетураман. // *Журнал молекулярных жидкостей.* 2020 (на английском языке)
6. Бакланова И.В. Прокурсорная технология производства белых и цветных люминофоров на основе  $Al_2O_3:Ln$  ( $Ln = Eu^{3+}, Tb^{3+}$  или  $Eu^{3+}/Tb^{3+}$ ). / Бакланова И.В., Красильников В.Н., Тютюнник А. П., Бакланова Ю.В. // *Журнал химии твердого тела.* 2020. С. 292 (на русском языке)
7. Хок М.А. Изготовление и сравнительное исследование магнитной наночастицы Fe и  $\alpha-Fe_2O_3$ , дисперсной гибридной полимерной (ПВС + хитозан) новой нанокompозитной пленки. / М.А. Хок, М.Р. Ахмед, Г.Т. Рахман, М.Т. Рахман, М.А. Ислам, М.А. Хан, М.К. Хоссейн. // *Результаты по физике.* 2018. 10. С. 434-443 (на английском языке)
8. Надар А. Наноструктурированный  $Fe_2O_3$ , диспергированный на  $SiO_2$ , в качестве катализатора высокотемпературного разложения серной кислоты. Структурные и морфологические модификации каталитического использования и значимость взаимодействий  $Fe_2O_3-SiO_2$ . / А. Надар, А.М. Банерджи, М.Р. Пай, С.С. Мина, Р.В. Пай, Р. Тевари, С.Р. Бхарадвадж. // *Прикладной катализ Экология,* 2017. 217, С. 154-168 (на английском языке)
9. Нисицудзи Дж., Оказаки Р., Абэ С., Акамацу. Магнитные свойства порошков Fe-Mn-Ni, полученных водородным восстановлением мокро-синтезированных ферритовых нанопорошков. // *IEEE Transactions on Magnetics.* 2023. Т. 59 (11). (на английском языке)
10. Коменкова Н.М. Автоклавное выщелачивание ванадия из черных сланцев. / Н.М. Коменкова, В.А. Козлов, К.М. Смирнов и др. // *Металлург.* 2017. 60. С. 1186-1190 (на русском языке)
11. Мотовилов Ю. Оксидные порошки производят из хлорида железа. / Ю. Мотовилов, В.А. Луганов, Б. Мишра, Т.А. Чепуштанова. // *Обзор металлургии СНГ.* 2018. С. 28-32 (на русском языке)

## Information about the authors:

**Chepushtanova T.A.**, PhD, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [t.chepushtanova@satbayev.university](mailto:t.chepushtanova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

**Yulusov S.**, PhD, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [s.yulusov@satbayev.university](mailto:s.yulusov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8044-4186>

**Espenova Zh.M.**, doctoral student PhD, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [zh.yespenova@satbayev.university](mailto:zh.yespenova@satbayev.university); <https://orcid.org/0009-0002-6597-8408>

**Tulegenov A.S.**, master's student, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [a.tulegenov@satbayev.university](mailto:a.tulegenov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-6194-3518>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Чепуштанова Т.А.**, PhD, қауымдастырылған профессор Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Юлусов С.**, PhD, доцент, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Еспенова Ж.М.**, докторант PhD, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Төлегенов А.С.**, магистрант, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## Сведения об авторах:

**Чепуштанова Т.А.**, доктор PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Юлусов С.**, доктор PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Еспенова Ж.М.**, докторант PhD, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Төлегенов А.С.**, магистрант, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

# Повышение качества и устойчивости процесса измельчения

Решения по футеровке мельниц ARMOUR™ максимально увеличивают пропускную способность и эффективность измельчения, одновременно снижая время простоя

Когда дело доходит до защиты мельниц от интенсивного износа, наши мельничные футеровки всегда к вашим услугам.

Как OEM-поставщик, мы предлагаем полный спектр вариантов футеровок, включая композитные, стальные и резиновые решения для всех брендов мельниц.

Независимо от того, какую опцию вы выберете, одно можно сказать наверняка: вы получаете высокопрочные мельничные футеровки, которые повышают производительность процесса, поскольку позволяют оборудованию работать дольше. Это означает меньшее время простоя и более высокую прибыльность.

## Преимущества наших мельничных футеровок:

- Увеличение прибыли за счет увеличения производительности
- Сокращение времени простоя благодаря проверенной долговечности
- Высочайшие стандарты безопасности
- Быстрый монтаж



Свяжитесь с нами  
[flsmidth.eco\\_3NHqcH0](mailto:flsmidth.eco_3NHqcH0)



Узнайте больше о  
мельничных футеровках



# FLS

Код МРНТИ 53.01.91:61.31.51

\*А.С. Раимбекова<sup>1</sup>, В.И. Капралова<sup>1</sup>, Ш.Н. Кубекова<sup>1</sup>, Л.А. Жусупова<sup>2</sup><sup>1</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»  
(г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>НАО «Кызылординский университет имени Коркыт ата» (г. Кызылорда, Казахстан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙРЕМ НА РАСТВОРЫ ФОСФАТИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Данная работа посвящена решению проблемы переработки отходов горнодобывающих производств путем создания на их основе и использования фосфатирующих растворов, образующих конверсионные антикоррозионные покрытия на поверхности стальных конструкций. Показано, что получение марганецсодержащего раствора фосфатирования возможно на основе вскрышных отходов м. Жайрем фосфорнокислотным выщелачиванием. Выявлены оптимальные условия процесса выщелачивания, изучен химический состав и технические показатели полученного раствора фосфатирования. Проведены коррозионные испытания фосфатных покрытий, образованных на стальных образцах (Ст3) в фосфатирующем растворе, полученном при фосфорнокислотном выщелачивании вскрышных отходов.

**Ключевые слова:** растворы фосфатирования, фосфатные антикоррозионные покрытия, вскрышные отходы, фосфорнокислотное выщелачивание, коррозионные испытания, степень извлечения.

### Жайрем кен орнының техногендік қалдықтарын фосфаттау ерітінділеріне қайта өңдеу мүмкіндігін зерттеу

**Андатпа.** Бұл жұмыс тау-кен өндірісінің қалдықтарын олардың негізінде жасау және болат конструкцияларының бетінде конверсиялық коррозияға қарсы жабындар түзетін фосфаттандырғыш ерітінділерді пайдалану арқылы қайта өңдеу мәселесін шешуге арналған. Жайрем кен орнының аршу қалдықтары негізінде құрамында марганец бар фосфаттау ерітіндісін алу фосфорқышқылды шаймалау арқылы мүмкін болатындығы көрсетілген. Шаймалау процесінің онтайлы шарттары анықталды, алынған фосфаттау ерітіндісінің химиялық құрамы мен техникалық көрсеткіштері зерттелді. Аршу қалдықтарын фосфор қышқылымен шаймалау кезінде алынған фосфат ерітіндісінде болат үлгілерде (Ст3) түзілген фосфат жабындарына коррозиялық сынақтар жүргізілді.

**Түйінді сөздер:** фосфаттау ерітінділері, фосфатты коррозияға қарсы жабындар, ариу қалдықтары, фосфорқышқылды шаймалау, коррозияға қарсы сынақтар, экстракциялану дәрежесі.

### Study of possibility of processing of technogenic wastes of Zhayrem deposit into phosphating solutions

**Abstract.** This work is devoted to solving the problem of processing mining waste by creating based on them and using phosphating solutions that form conversion anti-corrosion coatings on the surface of steel structures. It is shown that production of manganese-containing phosphating solution is possible on the basis of overburden wastes of Zhayrem by phosphoric acid leaching. The optimal conditions of the leaching process were identified, the chemical composition and technical indicators of the resulting phosphating solution were studied. Corrosion tests were carried out on phosphate coatings formed on steel samples (St3) in a phosphating solution obtained during phosphate leaching of overburden waste.

**Key words:** phosphating solutions, phosphate anticorrosion coatings, overburden wastes, phosphate leaching, corrosion tests, recovery rate.

### Введение

Углеродистая сталь благодаря высокой прочности, хрупкой пластичности и свариваемости, является основным конструкционным материалом, широко используемым в различных отраслях промышленности. Однако из-за низкой коррозионной стойкости такие конструкции требуют применения специальных мер защиты от коррозии, среди которых можно выделить различные покрытия [1]. Перспективными в этом плане являются конверсионные фосфатные покрытия, образующиеся в результате фосфатирования металла концентрированными растворами фосфатных солей марганца, цинка, железа, получаемых на основе индивидуальных химических соединений [2-9]. Собственное производство фосфатирующих концентратов в РК отсутствует, а импортные реагенты обладают достаточно высокой стоимостью.

Поэтому актуальной является задача организации отечественного производства фосфатирующих растворов на базе дешевого, доступного сырья, в частности, отходов горно-обогатительных производств. Ежегодная добыча полезных ископаемых в республике составляет миллионы тонн, большая часть которых в виде отходов не утилизируется, а складывается, занимая большие площади земли и загрязняя окружающую среду. Эти отходы представляют собой техно-минеральные образования и могут быть использованы в качестве сырья для производства новых неорганических материалов. Определенный практический интерес представляют марганецсодержащие отходы,

на основе которых возможно получение фосфатирующих растворов для создания антикоррозионных конверсионных покрытий. Вовлечение данных отходов в переработку актуально как с технологической (расширение ассортимента товарной продукции), так и с экологической точек зрения, так как утилизация отходов снизит их негативное влияние на окружающую среду и будет способствовать не только сохранению металлофонда технологического оборудования, но и сохранности запасов природных полезных ископаемых.

Целью работы является исследование возможности переработки отходов обогащения марганцевых руд казахстанских месторождений на фосфатирующие растворы и конверсионные антикоррозионные покрытия.

### Объект и методы исследования

Настоящие исследования выполнены в НАО «КазНИТУ» им. К.И. Сатпаева на кафедре «Химические процессы и промышленная экология» в рамках программно-целевого проекта №BR21881939.

Объектом исследования являлись измельченные вскрышные породы месторождения Жайрем, представляющие собой материал бурого-коричневого цвета с земляным оттенком с размерами частиц до 5 мм.

Ранее [10] нами с использованием электронно-зондового и рентгенодифрактометрического анализов был изучен вещественный и фазовый состав этих отходов и установлено, что основными компонентами вскрышных

отходов являются кальцит  $CaCO_3$  (29,5 масс.%), браунит ( $Mn_2O_3, MnSiO_3$ ) (14,6 масс.% при среднем содержании  $MnO$  31,67 масс.%), кварц  $SiO_2$  (10,7 масс.%), глинистые минералы  $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$  (19,8 масс.%), гематит  $Fe_2O_3$  (9,6 масс.%), барит  $BaSO_4$  (8,5 масс.%), а также небольшие количества полевых шпатов и слюдяных минералов. В качестве эффективного метода извлечения соединений марганца из этих отходов было предложено провести фосфорнокислотное выщелачивание.

Анализ химического состава объекта исследований проводили стандартными фотоколориметрическим, титриметрическим и весовым методами.

Процесс выщелачивания в зависимости от времени проводили ортофосфорной кислотой с концентрацией 5; 10; 20% (плотность растворов 1,025; 1,053; 1,113 г/см<sup>3</sup> соответственно) при температурах 20, 45 и 75 °С и различных соотношениях Т:Ж. Степень извлечения марганца в растворы определяли фотоколориметрическим методом с персульфатом аммония при длине волны 520 нм.

Ускоренная оценка защитной способности фосфатных покрытий определялась с помощью раствора Акимова ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  82 г/л;  $NaCl$  33 г/л; 0,1н  $HCl$  13 мл/л) [11]

путем нанесения его капли на исследуемую поверхность фосфатированного образца, при этом критерием оценки качества являлось время изменения окраски участка поверхности под каплей от серого до красно-коричневого цвета.

### Результаты и обсуждения

Предварительно перед испытаниями был проведен химический анализ вскрышных пород м. Жайрем. Для этого были подготовлены усредненные пробы путем тщательного истирания и смешения методом квартования отдельных порций образцов проб вскрышных пород. Усредненные результаты анализа по трем параллельным пробам показаны в таблице 1.

Данные результаты воспроизводимы с данными вещественного и фазового анализов, полученными инструментальными методами [10]. На основании этого усредненный состав вскрышных пород, определенный химическим методом, был принят как наиболее достоверный и использовался в дальнейших исследованиях.

Результаты кинетики фосфорнокислотного выщелачивания марганца из вскрышных отходов при соотношении Т:Ж = 1:100 и различных температурах показаны в таблице 2.

Таблица 1

### Результаты химического анализа исследуемой пробы

Кесте 1

### Зерттелетін үлгілердің химиялық талдауларының нәтижелері

Table 1

### Results of chemical analyses of investigated sample

Образец	Содержание, масс.%						
	п.п.п.	CaO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	н.р.о.
Отходы вскрыши	20,45	22,61	14,76	3,20	3,25	1,85	33,88

Таблица 2

### Степень извлечения марганца в растворы фосфорной кислоты в зависимости от концентрации, времени и температуры при Т:Ж = 1:100

Кесте 2

### Қ:С = 1: 100 жағдайда марганецтің концентрацияға, уақытқа және температураға байланысты фосфор қышқылының ерітінділеріне экстракциялану дәрежесі

Table 2

### Degree of manganese recovery in phosphoric acid solutions depending on concentration, time and temperature at S:L = 1:100

Концентрация $H_3PO_4$ , %	Температура, °С	Время выщелачивания, ч						
		1	2	3	4	6	8	24
		Степень извлечения марганца, %						
5	20	5,2	8,5	11,5	15,2	17,5	18,8	23,0
	45	9,5	12,8	19,0	21,5	27,0	32,2	не анализировано
	75	12,5	27,5	35,4	42,3	51,5	57,3	не анализировано
10	20	6,8	11,0	16,5	22,0	26,5	29,0	32,5
	45	11,3	21,7	28,5	32,3	41,5	47,8	не анализировано
	75	21,0	32,3	42,5	51,3	58,7	62,0	не анализировано
20	20	3,5	6,5	9,0	12,4	21,5	23,0	28,7
	45	8,5	12,0	18,7	22,5	30,0	36,5	не анализировано
	75	9,2	16,5	23,5	32,6	41,8	52,5	не анализировано

Из результатов следует, что степень извлечения марганца в жидкую фазу возрастает как с увеличением концентрации, времени, так и температуры процесса. При этом при комнатной температуре (20 °С) степень извлечения не превышает 32,5% за 24 часа выщелачивания. Такие показатели – низкая степень извлечения, длительность процесса, а также большой объем жидкой фазы (Т:Ж = 1:100) не позволяют рекомендовать низкотемпературное выщелачивание в промышленном производстве и поэтому дальнейшие испытания для сокращения времени выщелачивания и снижения объема жидкой фазы проводили при температуре 75 °С и соотношения Т:Ж = 1:(5÷30).

Также необходимо отметить, что растворы выщелачивания на основе 20%-ой  $H_3PO_4$  имеют высокое содержание свободной фосфорной кислоты. Если использовать такой раствор в качестве раствора фосфатирования, то будет происходить подтравливание поверхности металла, в результате чего будут ухудшаться защитные свойства фосфатных пленок. Поэтому далее отработку оптимальных условий процесса фосфорнокислотного выщелачивания проводили, используя 10%-ый раствор  $H_3PO_4$ . Полученные результаты показаны в таблице 3.

Таблица 3

**Степень извлечения марганца в растворы 10%-ой фосфорной кислоты при температуре 75 °С в зависимости от времени и соотношения Т:Ж**

Кесте 3

**Уақыт пен К:С қатынасына байланысты 75 °С температурада 10% фосфор қышқылының ерітіндісіне марганецтің экстракциялану дәрежесі**

Table 3

**Degree of manganese recovery in solutions of 10% phosphoric acid at a temperature of 75 °С depending on time and ratio S:L**

Соотношение Т:Ж	Время выщелачивания, ч				
	1	2	3	5	6
	Степень извлечения марганца, %				
1:5	31,7	48,9	55,0	59,0	61,5
1:10	35,6	53,4	57,5	63,4	65,0
1:30	44,3	56,2	62,0	65,0	68,0

Основной технологической характеристикой растворов фосфатирования является отношение общей кислотности к свободной –  $K_0/K_c$ . Для известного раствора фосфатирования Мажеф при концентрациях 28-35 г/л соотношение  $K_0/K_c$  должно лежать в пределах 6-8 [12]. Исходя из этого, нами также был проведен контроль полученных растворов выщелачивания при температуре 75 °С на общую и свободную кислотность в зависимости от времени и соотношения Т:Ж (таблица 4).

Из результатов следует, что наиболее близким по соотношению  $K_0/K_c$  к требуемому для препарата Мажеф является раствор, полученный при соотношении Т:Ж = 1:5 и времени выщелачивания 4 часа. Однако из-за густоты пульпы в этом случае процесс фильтрации происходит с низкой скоростью. Более высокая скорость фильтрации

наблюдается при соотношении Т:Ж = 1:10. При этом соотношение  $K_0/K_c$  лежит в пределах 6,0÷6,3 при времени выщелачивания 3÷4 часа (таблица 4).

Таблица 4

**Зависимость отношения  $K_0/K_c$  в растворах выщелачивания при 75 °С**

**10%  $H_3PO_4$  в зависимости от времени и соотношения Т:Ж**

Кесте 4

**75 °С кезіндегі 10%  $H_3PO_4$  шаймалау ерітінділеріндегі  $K_0/K_c$  қатынасының**

**уақыт және К:С қатынасына тәуелділігі**

Table 4

**Dependence of ratio  $K_0/K_c$  in leaching solutions at 75 °С 10%  $H_3PO_4$  versus time and ratio S:L**

Соотношение Т:Ж	Время разложения, ч	Степень разложения, отн. %	Отношение общей кислотности к свободной, $K_0/K_c$
1:5	1	31,7	5,7
1:5	2	48,9	6,2
1:5	3	55,0	6,6
1:5	4	59,0	6,8
1:10	1	35,6	4,5
1:10	2	53,4	5,2
1:10	3	57,5	6,0
1:10	4	63,4	6,3
1:30	1	44,3	3,2
1:30	2	56,2	4,1
1:30	3	62,0	4,5
1:30	4	65,0	4,7

На основании проведенных экспериментов были выбраны оптимальные условия проведения процесса фосфорнокислотного выщелачивания вскрышных пород с целью получения фосфатирующего раствора: концентрация фосфорной кислоты 10%; Т:Ж = 1:10; время выщелачивания 3-4 часа; температура процесса выщелачивания 75 °С.

Полученный при этом раствор имеет химический состав по основным компонентам (масс.%):  $MnO$  – 7,4;  $CaO$  – 13,6;  $FeO$  – 0,9;  $P_2O_5$  (общ.) – 59,2;  $P_2O_5$  (своб.) – 8,5;  $H_2O$  – 18,9 и следующие технические характеристики: соотношение  $Mn(H_2PO_4)_2 : Fe(H_2PO_4)_2 = 8,1$ ;  $K_0/K_c = 76:12 = 6,33$ , что соответствует раствору фосфатирования типа Мажеф. Отличие фосфатирующего раствора, полученного при выщелачивании вскрышных отходов м. Жайрем от стандартного раствора фосфатирования Мажеф состоит в том, что он дополнительно содержит дигидрофосфат кальция при соотношении  $Mn(H_2PO_4)_2 : Ca(H_2PO_4)_2 = 1 : 2,19$ .

Полученный при вышеуказанных оптимальных условиях фосфорнокислотного выщелачивания отходов вскрыши продуктивный раствор был апробирован в качестве раствора фосфатирования для создания антикоррозионных покрытий. Для этого стальные (Ст3) образцы с пло-

щадь рабочей поверхности 21,4 см<sup>2</sup> помещали в раствор полученного продуктивного раствора при различных температурах и времени выдержки. О защитных свойствах образовавшихся покрытий судили по капельной пробе Г.В. Акимова. Результаты показаны в таблице 5.

**Таблица 5**

**Результаты коррозионных испытаний фосфатных покрытий по среднему времени капельной пробы по Г.В. Акимову**

**Кесте 5**

**Г.В. Акимов әдісімен тамшылатып сынамаңыз орташа уақытын анықтап фосфат жабындарын коррозиялық сынау нәтижелері**

**Table 5**

**Results of corrosion tests of phosphate coatings by average drop sample time according to G.V. Akimov**

Состав раствора фосфатирования	Температура фосфатирования, °С	Время фосфатирования, мин	Среднее время капельной пробы, с
Раствор после фосфорнокислотного выщелачивания вскрышных пород м. Жайрем	80	10	45
	80	20	215
	80	30	235
	85	10	115
	85	20	235
Раствор фосфатирования по рецептуре Мажеф	85	10	95
	85	20	235
	85	30	205

Сравнительная оценка данных коррозионных испытаний по среднему времени капельной пробы фосфатных покрытий, образовавшихся на стали в продуктивном растворе после фосфорнокислотного выщелачивания

вскрышных отходов и покрытий, сформированных в известном растворе Мажеф при температуре 85 °С и времени фосфатирования 20 минут показывает идентичность полученных результатов (таблица 5), что позволяет рекомендовать этот раствор для практического использования в качестве раствора фосфатирования при создании конверсионных антикоррозионных марганецсодержащих фосфатных покрытий.

Помимо капельной пробы о коррозионной стойкости сформированных фосфатных покрытий судили по степени их деструкции в воде при времени испытаний 1; 4 и 8 суток [11].

Морфологию поверхности фосфатных покрытий и изменение их качественного состава изучали с помощью электронного микроскопа SEM HITACHI TM3030 с встроенной системой микроанализа Bruker XFlash MIN SVE. Для построения карты распределения элементов, входящих в химический состав покрытий, проводилось сканирование микрондомом поверхности фосфатных покрытий методом рентгенофлуоресцентного картирования. Показано, что общая морфология поверхности покрытия, сформированного на стальной поверхности в растворе фосфатирования, полученном при выщелачивании отходов вскрыши 10%-ой фосфорной кислотой, свидетельствует об образовании однородного плотного слоя, что объясняет его высокие защитные свойства. По результатам картирования (таблица 6) покрытие, помимо железа и кислорода, содержит кальций, фосфор, марганец, алюминий и магний. Установлено, что с увеличением времени выдержки в воде, наблюдается снижение содержания в покрытии фосфора, марганца, алюминия и магния, что возможно, связано с переходом в воду растворимых первичных фосфатов этих металлов. Содержание кальция в покрытии, напротив, несколько увеличивается (таблица 6).

Исследование морфологии поверхности контрольных стальных образцов без фосфатных покрытий после выдержки в воде показали образование неравномерных рыхлых отложений, представленных зернами различной формы и размера, между которыми наблюдаются относи-

**Таблица 6**

**Изменение элементного состава фосфатных покрытий в зависимости от времени выдержки в воде**

**Кесте 6**

**Фосфат жабындарының суда ұстау уақытына байланысты элементтік құрамының өзгеруі**

**Table 6**

**Change in the elemental composition of phosphate coatings depending on the holding time in water**

Состав фосфатирующего концентрата	Время испытаний, сут	Элементный состав, масс. %									
		O	Fe	Ca	C	P	Mn	Si	Cr	Al	Mg
Ст3 без покрытия, контроль	1	7,01	88,08	0,0	4,21	0,0	0,51	0,14	0,05	0,0	0,0
	4	29,55	67,27	0,0	2,49	0,0	0,19	0,49	0,05	0,0	0,0
	8	37,54	58,16	0,0	3,62	0,0	0,30	0,34	0,0	0,0	0,0
Концентрат на основе 10% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	45,53	26,43	5,60	3,57	12,03	4,13	0,37	0,0	1,59	0,76
	4	46,43	29,67	7,23	2,75	10,74	2,34	0,02	0,0	0,67	0,15
	8	45,88	32,09	7,68	3,23	8,39	2,02	0,47	0,0	0,0	0,24

тельно большие пустоты, что подтверждается электронными микрофотографиями. Результаты картирования подтверждают развитие на металле коррозионного процесса, о чем говорит увеличение содержания кислорода в составе отложений и снижение содержания атомарного железа (таблица 6). Соединения кальция и фосфора в отложениях отсутствуют, а присутствие небольших количеств марганца, кремния, хрома можно объяснить исходным составом испытываемой стали марки Ст3.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность переработки вскрышных отходов м. Жайрем на фосфатирующие растворы, которые формируют на стальной поверхности фосфатные покрытия, обладающие высокими антикоррозионными свойствами.

### Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

– исследован процесс фосфорнокислотного извлечения марганца из вскрышных отходов м. Жайрем в зависимости от температуры, концентрации фосфорной кислоты, времени и соотношения Т:Ж. Выбраны оптимальные условия процесса выщелачивания: концентрация фосфорной кислоты 10%; Т:Ж = 1:10; время 3-4 часа; температура 75 °С;

– установлен состав (масс.%) и технические характеристики полученного фосфатирующего раствора:  $MnO$  – 7.4;  $CaO$  – 13.6;  $FeO$  – 0.9;  $P_2O_5$  (общ.) – 59,2;  $P_2O_5$  (своб.) – 8,5;  $H_2O$  – 18,9; соотношение  $Mn(H_2PO_4)_2$ :  $Fe(H_2PO_4)_2$  = 8,1;  $K/K_c$  = 76:12 = 6,33;

– проведены коррозионные испытания фосфатных покрытий, сформированных при 85 °С в течение 20 минут на стальных образцах (Ст3) в фосфатирующем растворе на основе вскрышных отходов м. Жайрем. Показано, что защитные свойства, определенные по среднему времени капельной пробы, соответствуют защитным свойствам покрытий, образованных на Ст3 в известном растворе Мажеф;

– данные СЭМ-микроскопии свидетельствуют об образовании на Ст3 при фосфатировании в растворе, полученном при выщелачивании отходов вскрыши м. Жайрем, плотного однородного слоя, содержащего по результатам картирования (масс.%):  $O$  – 45,53;  $Fe$  – 26,43;  $Ca$  – 5,60;  $C$  – 3,57;  $P$  – 12,03;  $Mn$  – 4,13;  $Si$  – 0,37;  $Al$  – 1,59;  $Mg$  – 0,76, обладающего высокими антикоррозионными свойствами.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №BR21881939).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Герасимов А.А. Фосфатирование и оксидирование сталей, цинковых покрытий и сплавов. // Коррозия: материалы, защита. 2008. №11. С. 42-44 (на русском языке)
2. Су Х.И. Влияние добавок на свойства фосфатно-конверсионного покрытия на электрооцинкованном стальном листе. / Х.И. Су, К.С. Лин. // Коррос. Наука. 2014. С. 137-146 (на английском языке)
3. Тамилселви М. Наноцинк-фосфатные покрытия для повышения коррозионной стойкости низкоуглеродистой стали. / М. Тамилселви, П. Камарадж, М. Артханарисвари, С. Девикала. // Прибой. Наука. 2015. №327. С. 218-225 (на английском языке)
4. М. Фулади. Влияние времени и температуры фосфатирования на микроструктуру и коррозионные свойства покрытия из фосфата магния. / М. Фулади, А. Амаде. // Электрохим. 2013. №106. С. 1-12 (на английском языке)
5. Никдехган Х. Влияние термической обработки подложки на морфологию и коррозионную стойкость Zn-Mn фосфатного покрытия. / Х. Никдехган, А. Амаде, А. Хонарбахш-Рауф. // Поверх. инж. 2013. №24. С. 287 (на английском языке)
6. С. Шанмугам. Разработка перманганатно-фосфатного покрытия марганца на низкоуглеродистой стали, Corrosion Engineering. / С. Шанмугам, К. Равичандран, Т.С.Н. Санкара Нараянан, М. Маранпан. // Наука Технол., 2014. №49. С. 719-726 (на английском языке)
7. Резаи Н. Исследование коррозионных характеристик, микроструктуры и адгезионных свойств конверсионного покрытия на основе фосфата цинка комнатной температуры, содержащего  $Mn^{2+}$ , на низкоуглеродистой стали. / Н. Резаи, М.М. Атнар, Б. Рамезанзаде. // Пов. покрытие. Технол. 2013. №236. С. 361-367 (на английском языке)
8. Станкевич А. Самовосстанавливающиеся нанопокрyтия для защиты от коррозии стали. // Наука о коррозии. 2020. С. 303-331 (на английском языке)
9. Исагулов А.З. Антикоррозийное покрытие с наночастицами галлуазита. / А.З. Исагулов, В.Ю. Руликов, Ю. Щербакова, Т.В. Ковалева, Св.С. Квон. // Металлургия. 2016. №3. С. 426-428 (на английском языке)
10. Раимбекова А.С. Исследование марганцево-фосфатных материалов на основе отходов обогащения. / А.С. Раимбекова, В.И. Капралова, А.К. Попова, Ш.Н. Кубекова. // Журнал химической технологии и металлургии. 2022. 57. №1. С. 176-183 (на английском языке)
11. ГОСТ 9.302-88: Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. М., Изд-во стандартов, 1990, 40 с. (на русском языке)

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Герасимов А.А. Болаттарды, мырыш жабындарын және қорытпаларды Фосфаттау және тотықтыру. // Коррозия: материалдар, қорғау. 2008. №11. Б. 42-44 (орыс тілінде)



2. Су Х.Ж. Қоспалардың электрогальванизацияланған болат табақ үшін фосфат конверсиясы жабынының қасиеттеріне әсері. / Х.Ж. Су, Қ.С. Лин. // Корроз. Ғыл. 2014. Б. 137-146 (ағылышын тілінде)
3. Тамилсельви М. Жұмсақ болаттың коррозияға төзімділігін арттыруға арналған наномырыш фосфат жабындары. / М. Тамилсельви, П. Камарадж, М. Артанаресвари, С. Девикала. // Корроз. Ғыл. 2015. №327. Б. 218-225 (ағылышын тілінде)
4. Фулади М. Фосфаттау уақыты мен температурасының магний фосфаты жабынының микроқұрылымына және коррозиялық әрекетіне әсері. / М. Фулади, А. Амаде. // Электрохимия. 2013. №106. Б. 1-12 (ағылышын тілінде)
5. Никдехан Х. Субстратты термиялық өңдеудің Морфологияға және Zn-Mn фосфат жабынының коррозияға төзімділігіне әсері. / Х. Никдехан, А. Амаде, А. Хонарбахш-Рауф. // Беттік Инженерия. 2013. №24. Б. 287 (ағылышын тілінде)
6. Шанмугам С. Жұмсақ болатта марганец фосфатының көмегімен перманганат жабындысын жасау. / С. Шанмугам, К. Равичандран, Т.С.Н. Санкара Нараянан, М. Маратпан. // Коррозия Инженерлік. Ғыл. Технология. 2014. №49. Б. 719-726 (ағылышын тілінде)
7. Резай Н. Жұмсақ болатта  $Mn^{2+}$  бар бөлме температурасындағы мырыш фосфатының конверсиялық жабынының коррозия өнімділігін, микроқұрылымын және адгезия қасиеттерін зерттеу. / Н. Резай, М.М. Атттар, Б. Рамезанзаде. // Бет. Қаб. технол. 2013. №236. Б. 361-367 (ағылышын тілінде)
8. Станкевич А. Болат коррозиясынан қорғауға арналған өзін-өзі қайта өңдейтін наножабындар. // Коррозия туралы ғылым. 2020. Б. 303-331 (ағылышын тілінде)
9. Исағұлов А.Ж. Галлоизит нанобөлшектері бар коррозияға төзімді жабын. / А.Ж. Исағұлов, В.Ю. Руликов, Ю. Шербакова, Т.В. Ковалева, Св.С. Квон. // Металлург. 2016. №55.3. Б. 426-428 (ағылышын тілінде)
10. Райымбекова А.С. Байыту қалдықтары негізінде марганец фосфатты материалдарын зерттеу. / А.С. Райымбекова, В.И. Капралова, А.К. Попова, Ш.Н. Кубекова. // Химиялық технология және металлургия журналы. 2022. Шығ. 57. №1. Б. 176-183 (ағылышын тілінде)
11. МЕМСТ 9.302-88: Тоттану мен тоттанудан қорғаудың бірыңғай жүйесі. Металл және бейметалл бейорганикалық жабындар. Бақылау әдістері. Мәскеу, стандарттар публ., 1990, 40 с. (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Gerasimov A.A. Fosfatirovanie i oksidirovanie stalei, tsinkovykh pokrytii i splavov. // Korroziya: materialy, zashchita. 2008. №11. С. 42-44 [Gerasimov A.A. Phosphating and oxidation of steels, zinc coatings and alloys. // Corrosion: materials, protection. 2008. №11. P. 42-44] (in Russian)
2. Su H.Y. Effect of additives on the properties of phosphate conversion coating on electrogalvanized steel sheet. / Su H.Y., Lin C.S. // Corros. Sci. 2014. P. 137-146 (in English)
3. Tamilselvi M. Nanozinc phosphate coatings for enhanced corrosion resistance of mild steel. / Tamilselvi M., Kamaraj P., Arthanareeswari M., Devikala S. // Appl. Surf. Sci. 2015. №327. P. 218-225 (in English)
4. Fouladi M. Effect of phosphating time and temperature on microstructure and corrosion behavior of magnesium phosphate coating. / Fouladi M., Amadeh A. // Electrochim. Acta. 2013. №106. P. 1-12 (in English)
5. Nikdehghan H. Effect of substrate heat treatment on morphology and corrosion resistance of Zn-Mn phosphate coating. / Nikdehghan H., Amadeh A., Honarbakshsh-Raouf A. // Surf. Eng. 2013. №24. P. 287 (in English)
6. Shanmugam S. Development of permanganate assisted manganese phosphate coating on mild steel, Corrosion Engineering. / Shanmugam S., Ravichandran K., Sankara Narayanan T.S.N., Marappan M. // Sci. Technol. 2014. №49. P. 719-726 (in English)
7. Rezaee N. Studying corrosion performance, microstructure and adhesion properties of a room temperature zinc phosphate conversion coating containing  $Mn^{2+}$  on mild steel. / Rezaee N., Attar M.M., Ramezanzadeh B. // Surf. Coat. Technol. 2013. №236. P. 361-367 (in English)
8. Stankiewicz A. Self-healing nanocoatings for protection against steel corrosion. // Corrosion Science. 2020. P. 303-331 (in English)
9. Issagulov A.Z. The Corrosion Resistant Coating with Halloysite Nanoparticles. / A.Z. Issagulov, V.Yu. Rulikov, Y.P. Chsherbakova, T.V. Kovaleva, Sv.S. Kvon. // Metallurgy. 2016. №3. P. 426-428 (in English)
10. Raimbekova A.S. The study of Manganese Phosphate materials based on enrichment wastes. / Raimbekova A.S., Kapralova V.I., Popova A.K., Kubekova Sh.N. // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2022. Vol. 57. №1. P. 176-183 (in English)
11. GOST 9.302-88: Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie. Metody kontrolya. M., Izd-vo standartov, 1990, 40 s. [GOST 9.302-88: Unified system of protection against corrosion and aging. Coatings are metallic and non-metallic inorganic. Control methods. Moscow, Standards Publ., 1990. 40 p.] (in Russian)

**Сведения об авторах:**

**Раимбекова А.С.**, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Химические процессы и промышленная экология», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [a.raimbekova@satbayev.university](mailto:a.raimbekova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-7330-533X>

**Капралова В.И.**, доктор технических наук, профессор кафедры «Химические процессы и промышленная экология», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [v.kapralova@satbayev.university](mailto:v.kapralova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-1565-0818>

**Кубекова Ш.Н.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Химические процессы и промышленная экология», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [s.kubekova@satbayev.university](mailto:s.kubekova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8665-9970>

**Жусупова Л.А.**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Биология, география и химия», НАО «Кызылординский университет имени Коркыт ата» (г. Кызылорда, Казахстан), [Laila@korkyt.kz](mailto:Laila@korkyt.kz); <https://orcid.org/0000-0002-0561-2458>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Раимбекова А.С.**, техникалық ғылымдар магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу техникалық университетінің «Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология» кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

**Капралова В.И.**, техникалық ғылымдар докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу техникалық университетінің «Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Кубекова Ш.Н.**, техникалық ғылымдар кандидаты, доцент, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу техникалық университетінің «Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

**Жусупова Л.А.**, техникалық ғылымдар кандидаты, Қоркыт Ата атындағы Қызылорда университетінің «Биология, география және химия» кафедрасының аға оқытушысы (Кызылорда қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Raimbekova A.S.**, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of «Chemical Processes and Industrial Ecology», NJSC «K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University» (Almaty, Kazakhstan)

**Kapralova V.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Chemical Processes and Industrial Ecology», NCJSC «K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University» (Almaty, Kazakhstan)

**Kubekova Sh.N.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Chemical Processes and Industrial Ecology», NCJSC «K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University» (Almaty, Kazakhstan)

**Zhussupova L.A.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of «Biology, Geography and Chemistry», NCJSC «Korkyt Ata Kyzylorda state university» (Kyzylorda, Kazakhstan)



2-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ  
**Цветные металлы  
России и СНГ**  
добыча, строительство  
и модернизация предприятий

VOSTOCK CAPITAL  
— 22 года динамичного успеха



19-20 ноября 2024, Москва

Генеральный спонсор:



Золотой спонсор:



Бронзовый спонсор:



Партнер в сфере инженерных инноваций



Логистический партнер:



2 дня делового общения

200+ участников

30+ инвестиционных проектов

30+ докладов

**КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ФОРУМА:**

- **Инвестиции:** запуск добычи, строительство и модернизация металлургических предприятий.
- **НОВОЕ!** Цифровизация и автоматизация всех этапов.
- **Актуально!** Круглый стол по эффективности: от разработки до переработки.
- **Импортозамещение, новые поставщики и рынки.**
- **НОВОЕ!** Круглый стол: устойчивое развитие, экономический рост, социальная ответственность, экологический баланс.
- **Современные технологии и решения** для добычи и модернизации металлургии.



Код МРНТИ 52.45.17

И.Ю. Мотовилов, \*М.Б. Барменшинова, Ш.А. Телков, Р.С. Омар

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»  
(г. Алматы, Казахстан)

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ОЦЕНКА ГРАВИТАЦИОННОЙ ОБОГАТИМОСТИ ОКИСЛЕННЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ РК

**Аннотация.** Данная работа посвящена изучению вещественного состава окисленных полиметаллических руд и их гравитационной обогатимости. Исследованы три пробы руды и определено, что ценными компонентами в рудах является свинец и серебро. Наиболее сложной пробой является проба №1, т.к. в ней 24,15% (отн.) свинца находится в неизвлекаемой гравитацией и флотацией форме в виде плумбозорита. В исследуемых пробах №1 и №2 отмечается довольно высокое содержание первичных шламов (-0,04+0,0 мм), выход которых составил 38,50% проба №1 и 44,70% проба №2. Гравитационное обогащение на отсадочных машинах и концентрационном столе исследованных окисленных проб обеспечивает извлечение крупных свободных зерен церуссита в кондиционный гравитационный концентрат на уровне 44-49%, что будет снижать их переизмельчение перед флотационным обогащением и способствовать повышению общего извлечения свинца.

**Ключевые слова:** химический анализ, минералогический анализ, гранулометрический анализ, физико-механические свойства, гравитационное обогащение, гравитационный концентрат.

**ҚР кен орындарындағы тотыққан полиметалл кендерінің заттық құрамын зерттеу және гравитациялық байытылуын бағалау**

**Андатпа.** Бұл жұмыс тотыққан полиметалл кендерінің заттық құрамын және олардың гравитациялық концентрациясын зерттеуге арналған. Үш кен сынамамы зерттеліп, кендегі бағалы компоненттер қорғасын мен күміс екені анықталды. Ең қиын үлгі №1 үлгі, өйткені ондағы қорғасынның 24,15% (салыст.) гравитациямен және флотациямен бөлініп алынбайтын пішінде плумбозорит түрінде болады. Зерттелетін №1 және №2 үлгілерде бастапқы шламың едеуір жоғары мөлшері (-0,04+0,0 мм) байқалады, оның шығымы №1 сынама үшін 38,50% және №2 сынама үшін 44,70% құрады. Зерттелетін тотыққан сынамаалардың концентрациялық столда гравитациялық байыту церусситтің ірі бос түйіршіктерін стандартты гравитациялық концентратқа 44-49% деңгейінде шығаруды қамтамасыз етеді, бұл флотациялық байыту алдында олардың қайта ұнтақталуын азайтады және қорғасынның жалпы бөліп алынуын арттыруға ықпал етеді.

**Түйінді сөздер:** химиялық талдау, минералогиялық талдау, гранулометриялық талдау, физика-механикалық қасиеттері, гравитациялық байыту, гравитациялық концентрат.

### Study of material composition and assessment of gravity concentration of oxidised polymetallic ores of RK deposit

**Abstract.** This work is devoted to the study of the material composition of oxidised polymetallic ores and their gravity enrichment. Three ore samples were studied and it was determined that the valuable components in the ores are lead and silver. The most difficult sample is sample No.1, because in it 24,15% (relative) of lead is in the form of plumbogorite, which is not extracted by gravity and flotation. In the studied samples No.1 and No.2 there is rather high content of primary slimes (-0,04+0,0 mm), the yield of which was 38,50% – sample No.1 and 44,70% – sample No.2. Gravity enrichment on jig washer and concentration table of the studied oxidised samples provides extraction of large free cerussite grains in the conditioned gravity concentrate at the level of 44-49% that will reduce their overgrinding before flotation enrichment and contribute to increase of total lead recovery.

**Key words:** chemical analysis, mineralogical analysis, granulometric analysis, physical and mechanical properties, gravity concentration, gravity concentrate.

### Введение

Особенность окисленных свинцово-цинковых руд обусловлена довольно высоким содержанием в них свинца, которое колеблется в широких пределах 3-10% [1]. Получаемые нестабильные технологические показатели обогащения обусловлены изменчивостью вещественного состава не только вмещающих пород, но и изменчивым соотношением окисленных минералов свинца.

Наиболее целесообразный метод обогащения окисленных свинцово-цинковых руд – это флотация после предварительной сульфидизации [2-5]. Также могут применяться гравитационные методы, такие как обогащение в тяжелых суспензиях, отсадка, винтовая сепарация и концентрация на столах или комбинация гравитационного и флотационного обогащения.

При обогащении сульфидных и окисленных свинцово-цинковых руд гравитационно-флотационным способом, гравитационному обогащению как правило отводят роль предварительной концентрации ценных компонентов с получением отвальных крупнокусковых хвостов в виде легкой фракции [6]. Удаление пустой породы в голове процесса улучшает условия последующих операций по разделению минералов, а также способствует уменьшению эксплуатационных затрат на дробление, измельчение и флотацию [7].

Также при высоких содержаниях свинца в рудах, гравитационное обогащение может обеспечить получение кондиционного концентрата при грубом измельчении руды, крупность которого превышает крупность, при котором возможно осуществлять процесс флотации, что в свою очередь снизит переизмельчение крупных зерен минералов свинца.

Цель – изучить вещественный состав проб окисленных полиметаллических руд, исследовать и дать оценку их гравитационной обогатимости.

### Объект и методы исследования

Настоящие исследования выполнены в НАО «КазННТУ» им. К.И. Сатпаева на кафедре «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» в рамках программно-целевого проекта №BR21881939.

Объектом исследования являлись пробы окисленной полиметаллической руды месторождения РК, отличающиеся вещественным составом в зависимости от глубины залегания. Пробы окисленной полиметаллической руды были разделены на три типа и обозначены в зависимости от глубины залегания как проба №1, проба №2 и проба №3.

Изучения вещественного состава проб окисленных руд выполнены с использованием химических, фазовых,

рентгенодифрактометрических, минералогических, granulometric analyses, а также замерами плотности, крепости и индекса измельчаемости по Бонду [8-11].

Отбор проб для выполнения вышеперечисленных анализов выполнен с использованием стандартных методик, рекомендуемых при исследовании полезных ископаемых на обогатимость, смысл которых заключается во взаимосвязи крупности и массы отбираемой пробы, в которой с достаточной достоверностью сохранены все свойства первоначальной технологической пробы и руды месторождения.

Гравитационное обогащение проводилось с использованием отсадочных машин и концентрационных столов. Обогащение на отсадочных машинах выполнено на машинных классах крупностью -16+3 мм и -3+0,071 мм, полученных рассевом из пробы исходной руды.

Отсадка машинного класса крупностью -16+3 мм осуществлялась на лабораторном пульсаторе с пневматическим приводом. Параметры отсадки машинного класса крупностью -16+3 мм: частота пульсаций составила 70 колебаний в минуту, амплитуда колебаний 100 мм, цикл пульсаций синусоидальный (50 – 0 – 50), диаметр камеры 250 мм, размер отверстий решета – 2,0 мм, высота естественной постели 200 мм, расход подрешетной воды 5 м<sup>3</sup>/т и удельная нагрузка 10 т/ч·м<sup>2</sup>.

Для обогащения мелких классов крупностью -3+0,071 мм использовалась двухкамерная диафрагмовая

отсадочная машина типа ОМЛ ЦНИГРИ: частота пульсаций составила 250 колебаний в минуту, амплитуда колебаний 8 мм, искусственная постель из зерен крупностью 8-10 мм и плотностью 3,5 т/м<sup>3</sup>, расход подрешетной воды 3 м<sup>3</sup>/т и удельная нагрузка 4 т/ч·м<sup>2</sup>.

Для получения свинцовой головки использовался концентрационный стол типа СКО – 0,5 завода «Труд». Параметры концентрации на столе: производительность 50 кг/ч, расход воды 1,5 м<sup>3</sup>/т, угол наклона деки 2°, отношение Ж:Т в питание 2:1.

### Результаты и обсуждения

#### Изучение вещественного состава

Результаты химического анализа исследуемых проб приведены в таблице 1.

Анализ результатов таблицы 1 показывает, что промышленную ценность представляет свинец и серебро. В пробе №3 отмечается содержание цинка 1,87%, но так как цинк в пробе находится в окисленной форме, практикой установлено, что его эффективное извлечение методами обогащения невозможно.

Результаты фазового анализа на свинец приведены в таблице 2.

Из анализа результатов таблицы 2 можно сделать вывод, что наиболее сложной пробой является проба №1, т.к. в ней 24,15% свинца находится в неизвлекаемой гравитацией и флотацией форме в виде плюмбоярозита. В осталь-

### Результаты химических анализов исследуемых проб

#### Зерттелетін үлгілердің химиялық талдауларының нәтижелері

#### Results of chemical analyses of investigated samples

Наименование пробы	Массовая доля, %									
	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Ag</i> , г/т	<i>BaSO<sub>4</sub></i>	<i>Fe</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>S</i>
Проба №1	5,82	0,68	15,5	0,17	14,37	61,75	0,70	1,57	6,01	0,07
Проба №2	6,88	0,79	97,3	15,48	4,35	44,5	2,70	2,25	8,46	1,30
Проба №3	4,67	1,87	92,70	14,45	1,68	5,55	47,60	18,50	2,94	2,06

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

### Результаты фазового анализа на свинец

#### Қорғасын үшін фазалық талдау нәтижелері

#### Results of phase analysis for lead

Формы свинца	Содержание, %					
	Проба №1		Проба №2		Проба №3	
	(абс.)	(отн.)	(абс.)	(отн.)	(абс.)	(отн.)
<i>Pb</i> церуссита <i>PbCO<sub>3</sub></i>	3,20	54,96	6,37	91,02	4,03	82,23
<i>Pb</i> галенита <i>PbS</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	13,92
<i>Pb</i> пироморфита <i>Pb<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cl</i>	1,21	20,89	0,54	7,67	0,00	0,00
плюмбоярозита <i>PbFe<sub>6</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub></i>	1,41	24,15	0,09	1,31	0,19	3,85
<i>Pb</i> общий	5,82	100	7,00	100	4,90	100

Таблица 2

Кесте 2

Table 2

Таблица 3

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа

Кесте 3

Жартылай сандық рентгендік фазалық талдау нәтижелері

Table 3

Results of semi-quantitative X-ray phase analysis

Минерал	Формула	Концентрация, %		
		Проба №1	Проба №2	Проба №3
доломит	$CaMg(CO_3)_2$	4,8	7,9	43,0
кальцит	$Ca(CO_3)$	-	6,3	26,5
барит	$BaSO_4$	-	16,6	8,0
кварц	$SiO_2$	80,4	41,0	4,7
галенит	$PbS$	-	-	1,8
пирит	$FeS_2$	-	-	2,8
гетит	$FeO(OH)$	3,2	13,2	7,6
альбит	$(Na,Ca)Al(Si,Al)_3O_8$		-	1,3
церуссит	$PbCO_3$	4,8	7,9	2,6
слюда	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	6,8	7,0	1,6

ных пробах свинец находится в извлекаемых формах в виде церуссита, галенита и пироморфита.

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с  $Si_{k\alpha}$ -излучением,  $\beta$ -фильтр. Условия съемки дифрактограмм:  $U = 35$  кВ;  $I = 20$  мА; съемка  $\theta$ -2 $\theta$ ; детектор 2 град/мин. В таблице 3 приведены результаты полуколичественного рентгенофазового анализа.

Из анализа результатов рентгенофазового анализа можно проследить изменение вещественного состава проб от их степени окисленности, который выражается в усложнении вещественного состава, снижается содержание кварца в пробах №2 и №3 и увеличивается содержание доломитов и кальцитов.

Проба №1 представляет собой кварц-каолиновую породу с включениями тонкозернистого агрегата сидерит-гетитового состава, с гнездами кристаллически-зернистого, аллотриоморфно зернистого церуссита, размером от 0,05 до 0,3 мм. В пределах трещин и пустот выщелачивания наблюдаются концентрически-зональные образования, сложенные тонкозернистыми агрегатами (размер зерен ~ 0,007 мм) церуссита, гетита и сидерита. На участках, менее подверженных окислительным процессам, видна реликтовая полосчатая микротекстура с чередованием рудных прослоев.

Проба №2 представляет собой кварц-барит-церусситовую руду, тонкополосчатую, средне-мелкозернистую, чередование полос обусловлено прослоями церуссита кварца и барита с гидроокислами железа. Основной рудный минерал – церуссит представляет собой тонкое срастание ангдральных скоплений неправильной формы с кварцем, реже с баритом, сростки размером от 0,02 до 0,7 мм, неправильной формы, края изрезаны. Структура церуссита аллотриоморфнозернистая. В центральных частях скоплений наблюдаются реликтовые включения галенита (~ 2%), размером от 0,007 до 0,05

мм с каемкой англезита, характеризующимся буровато-серым цветом в отраженном свете и темно-серыми внутренними рефlekсами на фоне буровато-серых у церуссита. Редкая спорадическая вкрапленность пирита с размером зерен до 0,02 мм неправильной, иногда полуовальной формы.

Проба №3 представляет собой известняк темно-бурого цвета с послойными выделениями церуссита с реликтами галенита, тонкозернистым пиритом и сфалеритом в кварц-карбонатной породе. Церуссит – основной рудный минерал, он количественно преобладает над галенитом, который в виде реликтов наблюдается обычно по периферии зерен. В церуссите часто наблюдается реликтовая сыпь галенита.

Результаты ситового анализа окисленных проб руд, дробленных до 16 мм с распределением свинца по классам крупности, приведены в таблице 4.

По данным ситового анализа окисленных проб руд, распределение свинца по крупности неравномерно. Его содержание по классам крупности варьируется от 2,54% (-0,04+0,0 мм) до 14,85% (-16+8 мм) проба №1; от 2,29% (-0,04+0,0 мм) до 13,42% (-3+0,5 мм) проба №2; от 3,84% (-16+8 мм) до 8,37% (-0,5+0,071 мм) проба №3. Такая картина распределения в пробах №1 и №2 является показателем наличия крупных вкраплений окисленных минералов свинца, которые при относительно грубом измельчении руды будут находиться в свободном виде и в богатых сростках. В пробе №2 наличия крупных вкраплений окисленных минералов свинца наблюдается меньше. В исследуемых пробах №1 и №2 отмечается довольно высокое содержание первичных шламов (-0,04+0,0 мм), выход которых составил 38,50% проба №1 и 44,70% проба №2.

В таблице 5 приведены результаты определения физико-механических свойств окисленных проб полиметаллических руд.

Таблица 4

Результаты ситового анализа окисленных проб руд, дробленных до 16 мм

Кесте 4

16 мм-ге дейін ұсақталған тотыққан кен үлгілерінің елеуіштік талдау нәтижелері

Table 4

Results of sieve analysis of oxidised ore samples crushed to 16 mm

Класс крупности, мм	Выход, %			Содержание Pb, %			Извлечение Pb, %		
	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №1	Проба №2	Проба №3
-16+8	11,37	13,51	58,21	14,85	10,46	3,84	29,06	20,73	49,85
-8+3	11,04	7,96	21,78	10,00	13,1	4,53	19,00	15,29	22,00
-3+0,5	10,70	10,36	9,72	5,90	13,42	5,61	10,86	20,39	12,16
-0,5+0,071	19,75	11,58	5,34	5,15	12,97	8,37	17,50	22,02	9,97
-0,071+0,04	8,64	11,89	0,99	4,54	3,76	7,97	6,75	6,56	1,76
-0,04+0,0	38,50	44,70	3,96	2,54	2,29	4,82	16,83	15,01	4,26
Итого	100,00	100,00	100,00	5,81	6,82	4,48	100,00	100,00	100,00

Таблица 5

Физико-механические свойства исследованных проб окисленной полиметаллической руды

Кесте 5

Тотыққан полиметалл кенінің зерттелетін үлгілерінің физика-механикалық қасиеттері

Table 5

Physical and mechanical properties of oxidised polymetallic ore samples studied

Показатели	Значения		
	Пробы		
	Проба №1	Проба №2	Проба №3
$\rho_t$ – удельный вес (плотность), г/см <sup>3</sup>	3,05	3,25	3,21
$\rho_b$ – насыпная плотность при крупности дробления -16+0,0 мм, г/см <sup>3</sup>	1,68	1,72	1,7
$f$ – коэффициент крепости по Протоdjяконову	13,1	12,2	10,2
$tg\theta$ – угол естественного откоса, град.	32	25	24
$AI$ – индекс абразивности по Бонду, г	0,35	0,28	0,18
$CWI$ – индекс дробимости по Бонду, кВт·ч/т	11,5	11,0	10,5
$BWI$ – индекс шарового измельчения по Бонду, кВт·ч/т·мкм <sup>0,5</sup>	18,8	17,9	14,5

По данным результатов исследования физико-механических свойств исследованных проб следует, что крепость проб и величины индексов Бонда увеличиваются от пробы №3 к пробе №1, в значениях от мягких руд к средним, что связано с увеличением содержания кварца в пробе №1 и пробе №2.

#### Гравитационное обогащение

В гравитационном цикле получение кондиционной свинцовой головки могут обеспечить только концентрационные столы. Концентрационные столы имеют низкую удельную производительность, которая составляет 0,3-0,5 т/м<sup>2</sup>·ч, что препятствует их применению в качестве единственного обогатительного оборудования, т.к.

требуется установка большого их количества. Из практики эксплуатации концентрационных столов известно, что однократное пропускание материала через концентрационный стол обеспечивает степень концентрации тяжелых минералов 3-4 раза. Цель гравитационного цикла – получить кондиционный концентрат с содержанием свинца не менее 45%. В продукте направляемого на концентрационный стол содержание свинца должно быть не менее 15%. Для получения такого содержания свинца в питании концентрационного стола на машинных классах выполнена отсадка, которая обеспечивает сокращение материала и повышает содержание свинца в концентратных фракциях.

Таблица 6

Баланс металлов гравитационного обогащения окисленных полиметаллических руд

Кесте 6

Гравитациялық байытылған тотыққан полиметалл кендерінің металдар балансы

Table 6

Metal balance of gravity concentration of oxidised polymetallic ores

Наименование	Выход, %			Содержание Pb, %			Извлечение Pb, %		
	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №1	Проба №2	Проба №3
Гравитационный концентрат (свинцовая головка)	5,38	6,83	4,48	51,53	47,90	45,14	46,91	48,83	43,96
Хвосты гравитации (питание флотации)	94,62	93,17	95,52	3,32	3,68	2,70	53,09	51,17	56,04
Руда	100,00	100,00	100,00	5,91	6,70	4,60	100,00	100,00	100,00

Схема гравитационного обогащения показана на рисунке 1.

В таблице 6 приведены результаты гравитационного обогащения окисленных проб полиметаллических руд.

При гравитационном обогащении окисленных полиметаллических руд можно получать кондиционные гравитационные концентраты:

- из пробы №1 выходом 5,38% от руды с содержанием свинца 51,53% при извлечении 46,91%;
- из пробы №2 выходом 6,83% от руды с содержанием свинца 47,90% при извлечении 48,83%;
- из пробы №3 выходом 4,48% от руды с содержанием свинца 45,14% при извлечении 43,96%.

Оставшийся свинец в хвостах гравитационного обогащения может быть извлечен флотацией.

### Выводы

На основании результатов изучения вещественного состава окисленных полиметаллических руд месторождения Республики Казахстан можно сделать следующие основные выводы:

- в исследованных пробах основными ценными компонентами является свинец и серебро;
- фазовым анализом установлено, что наиболее сложной пробой является проба №1, т.к. в ней 24,15% (отн.) свинца находится в неизвлекаемой гравитацией и флотацией форме в виде пломбоярозита;
- рентгенофазовым анализом исследованных проб установлено, что происходит изменение вещественного состава проб от их степени окисленности, который выражается в усложнении вещественного состава, снижается содержание кварца в пробах №2 и №3 и увеличивается содержание доломитов и кальцитов;
- по данным ситового анализа окисленных проб руд, распределение свинца по крупности неравномерно. В исследуемых пробах №1 и №2 отмечается довольно высокое содержание первичных шламов (-0,04+0,0 мм),



Рис. 1. Схема гравитационного обогащения.  
Сурет 1. Гравитациялық байыту схемасы.  
Figure 1. Scheme of gravity concentration.

выход которых составил 38,50% проба №1 и 44,70% проба №2;

- по результатам определенных физико-механических свойств исследованных проб следует, что крепость проб и величины индексов Бонда увеличиваются от пробы №3 к пробе №1, в значениях от мягких руд к средним;
- гравитационное обогащение на отсадочных машинах и концентрационном столе исследованных окисленных проб обеспечивает извлечение крупных свободных зерен церуссита в кондиционный гравитационный концентрат на уровне 44-49%, что будет снижать их переизмельчение перед флотационным обогащением и способствовать повышению общего извлечения свинца.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №BR21881939).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mütvellioğlu N.A. Обогащение окисленных свинцово-цинковых руд флотацией с использованием различных реагентов и условий испытаний. / Mütvellioğlu N.A., Yekeler M. // Журнал горной науки. 2019. №55. С. 327-332 (на английском языке)
2. Asadi T. Выщелачивание цинка из хвостов свинцово-цинковой флотации сульфатом железа и серной кислотой. / Asadi T., Azizi A., Lee J., Jahani M. // Журнал экологической и химической инженерии. 2017. №5. С. 4769-4775 (на английском языке)
3. Yu A. Технологические минералогические характеристики и оптимизация флотации низкосортной окисленной свинцово-цинковой руды рудника Ланпин. / Yu A., Ding Z., Yuan J., Feng Q., Wen S., Bai S. // Минералы. 2023 Т. 13. №9. С. 1167-1183 (на английском языке)
4. Liu C. Новое понимание влияния хлорида натрия на сульфидизирующую флотацию церуссита. / Liu C., Zhang W.C., Song S.X., Li H.Q., Jiao X.K. // Порошковые технологии. 2019. Т. 344. С. 103-107 (на английском языке)
5. Барменшинова М.Б. Исследование вещественного состава упорных золотосодержащих руд месторождения Актобе. / М.Б. Барменшинова, И.Ю. Мотовилов, Ш.А. Телков, Р.С. Омар. // Комплексное использование минерального сырья. 2024. Т. 331. №4. С. 5-11 (на английском языке)
6. Телков Ш.А. Исследование гравитационно-флотационного обогащения свинцово-цинковых руд месторождения Шалкия. / Ш.А. Телков, М.Б. Барменшинова, И.Ю. Мотовилов, З.С. Абишева. // Обогащение руд. 2021. №6. С. 9-15 (на английском языке)
7. Патент на полезную модель №6020. Способ измельчения труднообогатимых окварцованных полиметаллических руд с использованием гравитационного обогащения. / Ш.А. Телков, И.Ю. Мотовилов, М.Б. Барменшинова; 2021; Бюлл. №17 (на русском языке)
8. Авдеев А.Н. Оценка коэффициента крепости горных пород косвенными методами. / А.Н. Авдеев, Е.Л. Сосновская, А.Ю. Болотнев. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. №3. С. 28-35 (на русском языке)
9. Умарова И.К. Изучение минералогического состава упорных золотосодержащих руд месторождения Ауминзов. / И.К. Умарова, Д.А. Менгильбаев, Д.Б. Махмарежабов. // Научный прогресс. 2021. Т. 2. №5. С. 199-205 (на русском языке)
10. Федотов П.К. Технология переработки малосульфидной золотокварцевой руды. / П.К. Федотов, А.Е. Сенченко, К.В. Федотов, А.В. Бурдунов, В.Е. Власова. // Вестник Томского политехнического университета. Геоактивы Инжиниринг. 2022 Т. 333. №6. С. 178-189 (на английском языке)
11. Читалов Л.С. Сравнительная оценка методов определения рабочего индекса шарового измельчения Бонда. / Л.С. Читалов, В.В. Львов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №1. С. 130-145 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Mütvellioğlu N.A. Тотыққан қорғасын-мырыш кендерін әртүрлі реагенттер мен сынақ жағдайларын пайдалана отырып флотациямен байыту. / Mütvellioğlu N.A., Yekeler M. // Тау-кен журналы. 2019. №55. Б. 327-332 (ағылышын тілінде)
2. Asadi T. Қорғасын-мырыш флотациясының қалдықтарынан мырышты темір сульфатымен және күкірт қышқылымен шаймалау. / Asadi T., Azizi A., Lee J., Jahani M. // Экологиялық және химиялық инженерия журналы. 2017. №5. Б. 4769-4775 (ағылышын тілінде)
3. Yu A. Ланпин кенішінің төмен сұрыпты тотыққан қорғасын-мырыш кендерінің технологиялық минералогиялық сипаттамалары және флотациясын оңтайландыру. / Yu A., Ding Z., Yuan J., Feng Q., Wen S., Bai S. // Минералдар. 2023 Т. 13. №9. Б. 1167-1183 (ағылышын тілінде)
4. Liu C. Церусситтің сульфидтену флотациясына натрий хлоридінің әсері туралы жаңа түсінік. / Liu C., Zhang W.C., Song S.X., Li H.Q., Jiao X.K. // Ұнтақты технологиялар. 2019. Т. 344. Б. 103-107 (ағылышын тілінде)
5. Барменшинова М.Б. Ақтөбе кен орнының құрамында алтыны бар кендердің заттық құрамын зерттеу. / М.Б. Барменшинова, И.Ю. Мотовилов, Ш.А. Телков, Р.С. Омар. // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. 2024. Т. 331. №4. Б. 5-11 (ағылышын тілінде)
6. Телков Ш.А. Шалқия кен орнының қорғасын-мырыш кендерін гравитациялық-флотациялық байытуды зерттеу. / Ш.А. Телков, М.Б. Барменшинова, И.Ю. Мотовилов, З.С. Абишева. // Кендерді байыту. 2021. №6. Б. 9-15 (ағылышын тілінде)
7. Пайдалы модельге патент №6020. Гравитациялық байытуды қолдана отырып, байытылуы қиын окварцталған полиметалл кендерін ұнтақтау әдісі. / Ш.А. Телков, И.Ю. Мотовилов, М.Б. Барменшинова; 2021; Бюлл. №17 (орыс тілінде)



8. Авдеев А.Н. Жанама әдістер арқылы тау жыныстарының беріктік коэффициентін бағалау. / А.Н. Авдеев, Е.Л. Сосоновская, А.Ю. Болотнев. // Жогары оқу орындарының жаңалықтары. Тау-кен журналы. 2021. №3. Б. 28-35 (орыс тілінде)
9. Умарова И.К. Құрамында алтыны бар Ауминзов кен орнының минералогиялық құрамын зерттеу. / И.К. Умарова, Д.А. Менгильбаев, Д.Б. Махмарезжабов. // Ғылыми прогресс. 2021. Т. 2. №5. Б. 199-205 (орыс тілінде)
10. Федотов П.К. Аз сульфидті алтын-кварц кенін өңдеу технологиясы. / П.К. Федотов А.Е. Сенченко, К.В. Федотов, А.В. Бурдунов, В.Е. Власова. // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Геоактивті Инженерия. 2022 Т. 333. №6. Б. 178-189 (ағылышын тілінде)
11. Читалов Л.С. Бондтың шарлы ұнтақтау жұмыс индексін анықтау әдістерін салыстырмалы бағалау. / Л.С. Читалов, В.В. Львов. // Тау-кен ақпараты және аналитикалық бюллетень. 2021. №1. Б. 130-145 (на русском языке)

## REFERENCES

1. Mütevellioğlu N.A. Beneficiation of Oxidized Lead-Zinc Ores by Flotation Using Different Chemicals and Test Conditions. / Mütevellioğlu N.A., Yekeler M. // Journal of Mining Science. 2019. №55. P. 327-332 (in English)
2. Asadi T. Leaching of zinc from a lead-zinc flotation tailing sample using ferric sulphate and sulfuric acid media. / Asadi T., Azizi A., Lee J., Jahani M. // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2017. №5. P. 4769-4775 (in English)
3. Yu A. Process Mineralogy Characteristics and Flotation Optimization of a Low-Grade Oxidized Lead and Zinc Ore from Lanping Mine. / Yu A., Ding Z., Yuan J., Feng Q., Wen S., Bai S. // Minerals. 2023. Vol. 13. №9. P. 1167-1183 (in English)
4. Liu C. A novel insight of the effect of sodium chloride on the sulfidization flotation of cerussite. / Liu C., Zhang W.C., Song S.X., Li H.Q., Jiao X.K. // Powder Technology. 2019. Vol. 344. P. 103-107 (in English)
5. Barmenshinova M.B. Study of the material composition of refractory gold-bearing ore from the Aktobe deposit. / Barmenshinova M.B., Motovilov I.Yu., Telkov Sh.A., Omar R.S. // Complex Use of Mineral Resources. 2024. Vol. 331. №4. P. 5-11 (in English)
6. Telkov Sh.A. Study of gravity-flotation concentration of lead-zinc ore at the Shalkiya deposit. / Telkov Sh.A., Motovilov I.Yu., Barmenshinova M.B., Abisheva Z.S. // Ore beneficiation. 2021. №6. P. 9-15 (in English)
7. Patent na poleznuyu model' №6020. Sposob izmel'cheniya trudnoobogatimyykh okvartsovannykh polimetallicheskikh rud s ispol'zovaniem gravitatsionnogo obogashcheniya. / Sh.A. Telkov, I.Yu. Motovilov, M.B. Barmenshinova; 2021; Byull. №17 [Patent for utility model No.6020. A method for grinding difficult-to-rich silicified polymetallic ores using gravitational enrichment. / Telkov Sh.A., Motovilov I.Yu., Barmenshinova M.B.; 2021; Bull. №17] (in Russian)
8. Avdeev A.N. Otsenka koeffitsienta kreposti gornyykh porod kosvennymi metodami. / A.N. Avdeev, E.L. Sosonovskaya, A.Yu. Bolotnev. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. 2021. №3. S. 28-35 [Avdeev A.N. Estimation of the strength coefficient of rocks using indirect methods. / Avdeev A.N., Sosonovskaya E.L., Bolotnev A.Yu. // News of higher educational institutions. Journal of mining. 2021. №3. P. 28-35] (in Russian)
9. Umarova I.K. Izuchenie mineralogicheskogo sostava upornykh zolotosoderzhashchikh rud mestorozhdeniya Auminzov. / I.K. Umarova, D.A. Mengil'baev, D.B. Makhmarezhabov. // Nauchnyi progress. 2021. Т. 2. №5. S. 199-205 [Umarova I.K., Mengilbaev D.A., Makhmarezhabov D.B. Study of the mineralogical composition of refractory gold ores of the Auminzov deposit. / Umarova I.K., Mengilbaev D.A., Makhmarezhabov D.B. // Scientific Progress. 2021. Vol. 2. №5. P. 199-205] (in Russian)
10. Fedotov P.K. Technology for processing low-sulfide gold-quartz ore. / Fedotov P.K., Senchenko A.E., Fedotov K.V., Burdonov A.E., Vlasova V.E. // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2022 Vol. 333. №6. P. 178-189 (in English)
11. Chitalov L.S. Sravnitel'naya otsenka metodov opredeleniya rabochego indeksa sharovogo izmel'cheniya Bonda. / L.S. Chitalov, V.V. L'vov. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2021. №1. С. 130-145 [Chitalov L.S. Comparative assessment of methods for determining the working index of Bond ball grinding. / Chitalov L.S., Lvov V.V. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2021. №1. P. 130-145] (in Russian)

**Сведения об авторах:**

**Мотовилов И.Ю.**, доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [i.motovilov@satbayev.university](mailto:i.motovilov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-0716-402X>

**Барменшинова М.Б.**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [m.barmenshinova@satbayev.university](mailto:m.barmenshinova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

**Телков Ш.А.**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [s.telkov@satbayev.university](mailto:s.telkov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-6641-4802>

**Омар Р.С.**, магистр технических наук, инженер кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [r.omar@satbayev.university](mailto:r.omar@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-3269-7549>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Мотовилов И.Ю.**, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды өңдеу» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

**Барменшинова М.Б.**, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті» КЕАҚ, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (Алматы қ., Қазақстан)

**Телков Ш.А.**, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды өңдеу» кафедрасының т.ғ.к., доцент, профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Омар Р.С.**, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті» КЕАҚ, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының инженері, техника ғылымдарының магистрі (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Motovilov I.Yu.**, PhD, Associate Professor of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva» (Almaty, Kazakhstan)

**Barmenshinova M.B.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Metallurgy and mineral processing» NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva» (Almaty, Kazakhstan)

**Telkov Sh.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing» NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva» (Almaty, Kazakhstan)

**Omar R.S.**, Master of Technical Sciences, Engineer of the Metallurgy and Mineral Processing Department NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva» (Almaty, Kazakhstan)

# 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)

Код МРНТИ 52.01.11:52.01.91

\*А.С. Бейсебаева, С.М. Жарылкан, Е.Н. Есжан, С. Азат  
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Горно-металлургическая промышленность является значительным источником разнообразных отходов, которые требуют утилизации или повторного использования. В последние годы возрос интерес к разработке технологий и процессов, направленных на использование этих отходов для получения новых материалов, что имеет важное значение для снижения нагрузки на окружающую среду и оптимизации ресурса потребления. В данной работе рассматриваются основные методы и технологии получения материалов из горно-металлургических отходов, их преимущества и перспективы применения. В работе представлен обзор наиболее эффективных технологий по извлечению различных видов сырья и готовой продукции из горно-металлургической промышленности. Показаны разработанные технологии извлечения ценных компонентов из отходов производства на основании проведенных лабораторных исследований. В данной работе были получены наночастицы диоксида кремния, геополлимерный материал, материал, содержащий фазовый электропроводящий состав.

**Ключевые слова:** отходы горнодобывающей и металлургической промышленности, переработка, повторное использование, элементы, материал, кремний, безотходный процесс.

### Тау-кен металлургия қалдықтарын қайта өңдеу әдістері

**Андатпа.** Тау-кен металлургия өнеркәсібі кәдеге жаратуы немесе қайта пайдалануды қажет ететін әртүрлі қалдықтардың маңызды көзі болып табылады. Соңғы жылдары осы қалдықтарды жаңа материалдар алу үшін пайдалануға бағытталған технологиялар мен процестерді дамытуға қызығушылық артты, бұл қоршаған ортаға түсетін зиянды азайту және ресурстарды тұтынуды оңтайландыру үшін маңызды. Бұл жұмыста тау-кен және металлургиялық қалдықтарынан материалдарды алудың негізгі әдістері мен технологиялары, олардың артықшылықтары мен қолдану перспективалары қарастырылады. Жұмыста тау-кен металлургия өнеркәсібінен шикізат пен дайын өнімдердің әртүрлі түрлерін алудың ең тиімді технологиялары қарастырылған. Өндіріс қалдықтарынан бағалы компоненттерді алудың әзірленген технологиялары зертханалық зерттеулер негізінде көрсетілген. Жұмыста сирек кездесетін металл кенінің қалдықтарынан кремний диоксиді бар материал, геополлимерлі материал, құрамында электротөзігіштік фазасы бар материал алынды.

**Түйінді сөздер:** тау-кен металлургия өнеркәсібінің қалдықтары, қайта өңдеу, қайта пайдалану, элементтер, материал, кремний, қалдықсыз процесс.

### Methods for processing mining and metallurgical production waste

**Abstract.** The mining and metallurgical industry is a significant source of a variety of waste that requires disposal or reuse. In recent years, there has been increased interest in the development of technologies and processes aimed at using these wastes to produce new materials, which is important for reducing the burden on the environment and optimizing resource consumption. This paper discusses the main methods and technologies for obtaining materials from mining and metallurgical waste, their advantages and prospects for application. The paper provides an overview of the most effective technologies for the extraction of various types of raw materials and finished products from the mining and metallurgical industry. The developed technologies for extracting valuable components from production waste are shown based on laboratory studies. In this work, the following materials were obtained: silicon dioxide nanoparticles, geopolymer material, material containing a phase conductive composition.

**Key words:** waste from the mining and metallurgical industries, recycling, reuse, elements, material, silicon, waste-free process.

### Введение

Горнодобывающие и металлургические процессы производят значительное количество отходов. В Казахстане отходы горнодобывающей промышленности и металлургии являются одним из глобальных проблем для окружающей среды. Если ими не управлять должным образом, эти виды отходов могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде и представляют опасность для человека. Несмотря на экологические проблемы, связанные с отходами горнодобывающей и металлургической промышленности, добывающие отрасли могут быть интегрированы для формирования модели экономики замкнутого цикла, который способствует нулевым отходам за счет переработки и повторного использования этих отходов материалов. Другими словами, различные потоки отходов фактически могут рассматриваться как вторичные источники ценных минералов и металлов.

Загрязнение окружающей среды отходами металлургических и горно-обогатительных предприятий – одна из наиболее острых экологических проблем. Рациональным способом устранения отходов является их утилизация и использование в качестве вторичного сырья с созданием новых малоотходных технологий производства целевых материалов.

Сложившаяся ситуация с накопленными отходами обогатительных фабрик, хвостохранилищ и рудных месторождений подчеркивает необходимость продолжения исследований их возможного использования для получения альтернативных продуктов.

По химическому составу отходы можно разделить на неорганические, органические и смешанные отходы.

Современные технологии позволяют практически полностью утилизировать эти отходы, получая различные виды сырья и готовой продукции. В статье рассмотрены варианты переработки кремния из кремниевых шлаков, чистые частицы нанопористого кремнезема из фосфорного шлака, функциональных материалов из затвердевших шлаков и т.д. Однако лучший способ утилизации горно-металлургических отходов – это использование их для получения товарной продукции – сырья для промышленности, материалы для электроники, нанотехнологий и производства биоэнергетики. Утилизировать окружающую среду от вредных веществ, и найти эффективное решение извлечения элементов от техногенных отходов.

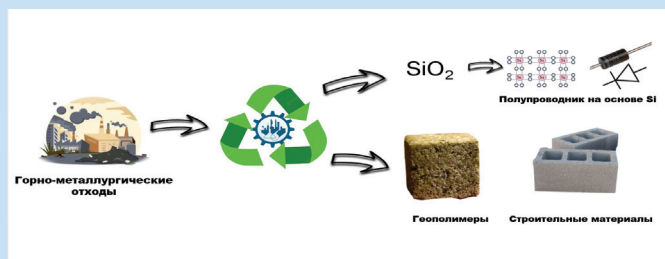
### Объекты исследования

Объектом исследования являлись пробы редкометаллической руды (Отход №5), золотосодержащей руды (Отход №6) месторождения РК, также пробы золошлаковых отходов (Отход №3), отличающиеся веществественным составом.

Изучение веществественного состава проб выполнено с использованием физико-химических, фазовых, рентгенодифрактометрических анализов, а также замерами размеров частиц, элементного состава проб до и после синтеза.

Цель – изучить веществественный состав проб, исследовать физико-химические свойства, получить новые материалы из исследуемых отходов.

Принципиальная схема (рис. 1) показывает концепцию данной работы с указанием планируемых и конечных результатов.



**Рис. 1. Принципиальная схема переработки горно-металлургических отходов и получение конечных продуктов.**

**Сурет 1. Тау-кен және металлургиялық қалдықтарды өңдеу және соңғы өнім алу схемасы.**

**Figure 1. Schematic diagram of processing mining and metallurgical waste and obtaining final products.**

### Методы исследования и результаты

Отбор проб для выполнения анализов выполнен с использованием высокопроизводительного сканирующего электронного микроскопа (JSM-6490LA) по химическому составу.

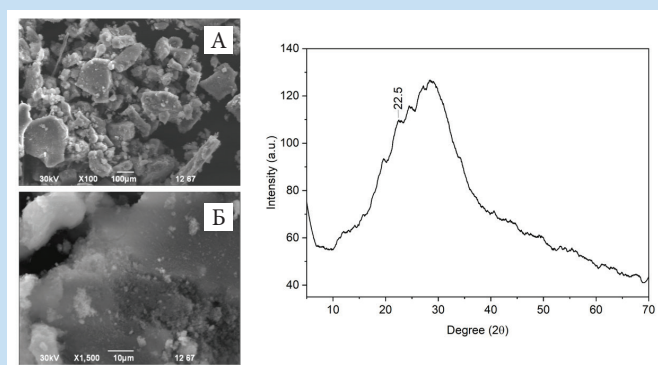
Был синтезирован диоксид кремния из отхода редкометаллической руды. Образцы были тщательно промыты дистиллированной водой для удаления пыли, а затем измельчены в порошок. Образцы поместили в печь и нагрели при температуре 800 °С в течение 1 часа. Затем золу извлекли из печи и охладили до комнатной температуры, а затем обработали горячим 3 М раствором соляной кислоты для удаления остаточных металлических примесей из образца. Оставшееся твердое вещество было промыто дистиллированной водой до нейтрализации.

Проведена экстракция кремнезема из отхода с использованием метода щелочного выщелачивания. Определенное количество образца добавляли в колбу, содержащую 4,0 М раствор гидроксида натрия (*NaOH*). Затем образец кипятили при температуре 100 °С в течение 6 ч при постоянном перемешивании. Раствор центрифугировали для отделения твердых остатков и фильтровали через фильтр для удаления любых примесей металла и углерода. В результате процесса фильтрации был получен бесцветный

и прозрачный раствор. Раствор разбавляли до 2,0 мл с использованием деионизированной воды.

Осаждение наночастиц кремнезема из полученного силикатного раствора с использованием соляной (*HCl*). Раствор силиката добавляли по каплям в 2,0 М раствор кислоты при постоянном перемешивании. Для контроля pH раствора использовался pH-метр. В процессе гелеобразования силикатный раствор вступает в реакцию с кислотой и образует аквагель. Аквагель выдерживался в течение 24 часов при постоянной температуре. Затем гели промывали деионизированной водой и центрифугировали не менее трех раз для удаления растворенных солей. Образец высушивали при 80 °С в течение 48 ч и измельчали в порошок для получения чистых наночастиц кремнезема.

Произведен элементный и структурный анализ (SEM-EDS) и структурный анализ (XRD) полученных образцов.



**Рис. 2. Микроизображения SEM (А – 100 мкм, В – 10 мкм) и дифрактограмма диоксида кремния.**

**Сурет 2. Микросуреттер SEM (А – 100 мкм, В – 10 мкм) және кремний диоксиді дифракция үлгісі.**

**Figure 2. Microimages SEM (A – 100 mkm, B – 10 mkm) and silicon dioxide diffraction pattern.**

По результатам анализа EDS синтезированного кремния диоксида образец состоит из ~63% диоксида кремния, а также был зарегистрирован аморфный пик с эквивалентным углом Брэгга при  $2\theta = 22,5^\circ$ . Пик доказывает, что материал содержит диоксид кремния.

**Талица 1**

**Результаты поэлементного анализа исследуемых проб**

**Кесте 1**

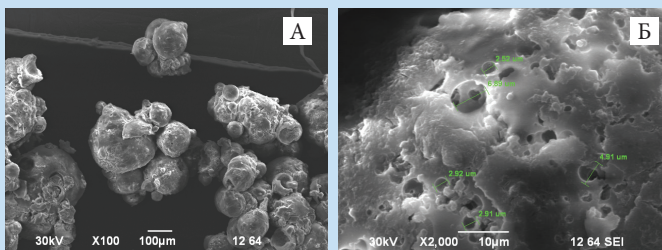
**Зерттелетін үлгілердің элементті талдау нәтижелері**

**Table 1**

**Results of element-by-element analysis of the studied samples**

Наименование пробы	Массовая доля, %									
	<i>F</i>	<i>Na</i>	<i>Se</i>	<i>Br</i>	<i>Rb</i>	<i>Cd</i>	<i>In</i>	<i>Pb</i>	<i>Si</i>	<i>Ge</i>
Отход №3 пробы золотосодержащих отходов	-	-	7,89	38,05	-	-	-	-	14,48	-
Отход №5 пробы редкометаллической руды	<i>F</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>K</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Sn</i>	<i>Si</i>	<i>Er</i>
	3,27	4,06	0,45	7,30	4,06	0,34	0,13	1,11	30,93	0,19
Отход №6 пробы золотосодержащей руды	3,07	1,66	0,42	3,23	7,42	0,61	0,03	3,34	33,47	0,35

Для получения геополимерного материала раствор щелочного активатора готовили смешиванием раствора силиката натрия с гранулами  $\text{NaOH}$  в массовом соотношении 6,69:1,00 в течение ночи до получения мольного соотношения  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} \approx 1,2$ . Геополимерную пену готовили по следующей схеме: МК и раствор щелочного активатора смешивали в массовом соотношении 1,00:1,36 с помощью смесителя с большими сдвиговыми усилиями (ИКА Eurostar 20) при скорости перемешивания 3000 об/мин в течение 4 мин. Затем добавляли  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1,28 мас.% МК) и перемешивание продолжали еще 2 мин при 3000 об/мин. Сформированную пасту отливали в форму колонны из акрилового пластика (высота 10,2 см и внутренний диаметр 4,3 см), закрытую с одного конца. Затем форму поместили в полиэтиленовый пакет и отвердели в печи при температуре 60 °С в течение 4 часов.



**Рис. 3. Микроизображения SEM геополимера (А – 100 мкм, В – 10 мкм).**

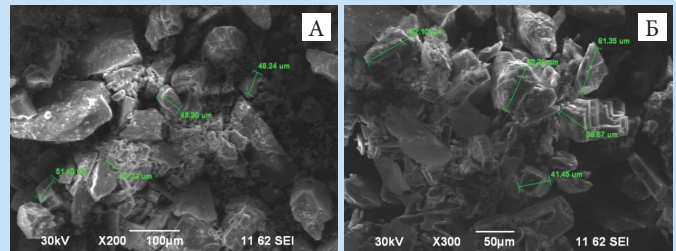
**Сурет 3. Геополимердің SEM микробейнелері (А – 100 мкм, В – 10 мкм).**

**Figure 3. SEM microimages of polymer (А – 100 mkm, В – 10 mkm).**

На рисунке 3 видна пористая структура с неоднородным распределением пор размером от 2.52 до 6.89 мкм. Частицы имеют преимущественно неправильную форму и разный размер. Наблюдаются области с различной плотностью, что может указывать на различные фазы или компоненты в материале. Видны как мелкие частицы, так и более крупные агрегаты. Различные участки изображения указывают на наличие нескольких фаз. Некоторые области выглядят более светлыми, что может свидетельствовать о наличии более плотных или различных по составу фаз. Такие микроструктурные особенности могут отрицательно влиять на механическую прочность материала, особенно в условиях циклического нагружения.

К одним из распространенных компонентов ГМК отходов относится кремний с содержанием от 10 до >50 %. В работе исследованы хвосты редкометаллической руды и золотосодержащей руды для получения полупроводникового материала. Образцы поместили в печь, процесс нагревания в течение 3 часов до температуры 650 °С. Затем отходы извлекли из печи и охладили до комнатной температуры, а затем обработали раствором  $\text{HCl}$  и в течение 5 часов перемешивали при 80 °С для удаления остаточных металлических примесей из образца. Затем добавляли  $\text{HF}$  (2,5%) и перемешивание продолжали еще в течение 2 часов при 1200 об/мин при 80 °С. Полученная смесь очищена дистиллированной водой до нейтрализации. Отходы были высушены при 80 °С в течение 24 ч.

Для исследования физико-химических свойств полученных образцов произведен элементный и структурный анализ и структурный анализ.



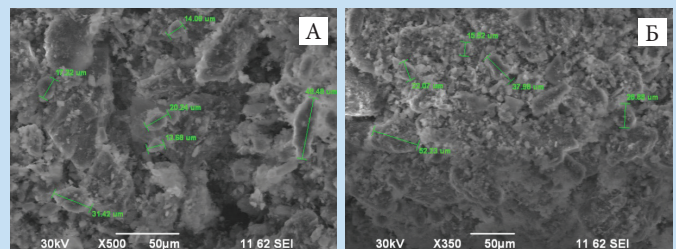
**Рис. 4. Микроизображения SEM полученного материала (хвосты редкометаллической руды). А – 100 мкм (содержание кремния 34.61%), В – 50 мкм (содержание кремния 35.67%).**

**Сурет 4. Алынған материалдың SEM микробейнелері (сирек металл кенінің қалдықтары). А – 100 мкм (кремний мөлшері 34,61%), В – 50 мкм (кремний құрамы 35,67%).**

**Figure 4. SEM microimages of the resulting material (rare metal ore tailings).**

**А – 100 mkm (silicon content 34.61%), В – 50 mkm (silicon content 35.67%).**

Размер зерен варьируется от 46.24 мкм до 51.40 мкм, что указано на рисунке 4. Зерна выглядят твердыми и плотными, с четко выраженными границами. Визуально можно различить отдельные зерна, но внутри каждого зерна видимых фазовых различий нет. Возможно, зерна представляют собой кристаллические структуры. Поверхность зерен выглядит шероховатой, с наличием мелких неровностей. Видны трещины и сколы на поверхности зерен, что может свидетельствовать о механическом воздействии или процессе разрушения. Наблюдаются трещины и сколы, что указывает на возможные дефекты в структуре зерен. На изображении видны участки с разной степенью плотности, что может свидетельствовать о наличии различных минеральных включений.



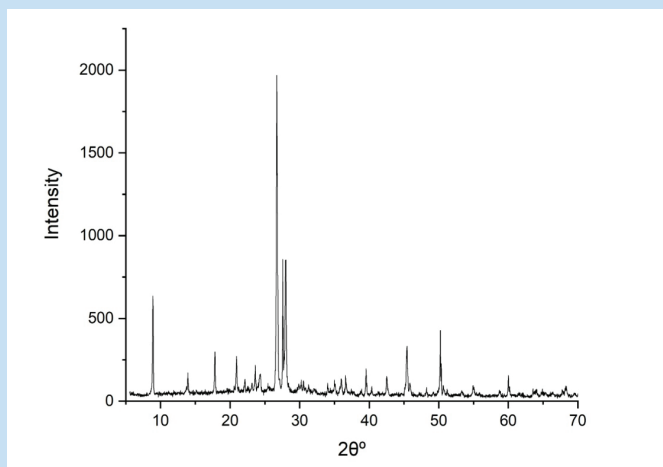
**Рис. 5. Микроизображения SEM полученного материала (хвосты золотосодержащей руды). А – 50 мкм (содержание кремния 33.26%), В – 50 мкм (содержание кремния 33.47%).**

**Сурет 5. Алынған материалдың SEM микросуреттері (алтын кенінің қалдықтары). А – 50 мкм (кремний мөлшері 33,26%), В – 50 мкм (кремний құрамы 33,47%).**

**Figure 5. SEM microimages of the resulting material (gold ore tailings). А – 50 mkm (silicon content 33.26%), В – 50 mkm (silicon content 33.47%).**

Размер пор варьируется от 13.68 мкм до 49.48 мкм, что указано на рисунке 5. Зерна и поры имеют преимущественно неправильную форму, что может быть результатом механического воздействия или условий формирования. Визуально можно различить различные области с разной плотностью, что может указывать на наличие различных фаз или компонентов в материале. В некоторых областях видны мелкие включения, что может свидетельствовать о наличии различных минеральных компонентов.

Фазовый состав отхода исследовали с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре *PANalytical X'Pert Pro* в медном излучении, с использованием программы Pdf2.



**Рис. 6. Дифракционная рентгенограмма полученного материала (хвосты редкометаллической руды).**

**Сурет 6. Алынған материалдың рентгендік дифракциялық үлгісі (сирек металл кенінің қалдығы).**

**Figure 6. X-ray diffraction pattern of the resulting material (rare metal ore tailings).**

Установлено присутствие на рентгенограмме рефлексов отражения таких кристаллических фаз как диоксид кремния. Основной пик наблюдается около угла  $2\theta = 27^\circ$ , с интенсивностью около 2000 единиц.

Высокие пики указывают на присутствие кристаллических фаз в материале. Наличие нескольких пиков свидетельствует о сложной фазовой композиции отхода.

Дополнительные пики могут указывать на наличие других минералов, таких как кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) или другие алюмосиликаты.

## Выводы

В статье приведен обзор некоторых исследований и новые тенденции переработки отходов. В работе сделан обширный обзор получения из отходов новых материалов: чистых частиц нанопористого кремнезема, функциональных материалов, кремния, различных материалов.

В работе обобщаются данные о переработке различных ГМК отходов, чтобы защитить окружающую среду от вредных веществ и о дальнейшем прогрессивном развитии техногенного мира.

Необходимо систематизировать результаты исследования эффективно выгодным условиям и технико-экономическим эффектам. В области технологий переработки отходов целесообразно переходить на комплексные, композитные технологии, сущность которых заключается в совмещении двух и более отходов в одной продукции, когда использование одного компонента (одного вида отходов) в сочетании с другим компонентом помогает достичь необходимого положительного качества конечной продукции.

Микроструктурные особенности, наблюдаемые на SEM-изображении, указывают на пористую структуру с заметными дефектами, такими как трещины и поры. Это может влиять на механические свойства материала, такие как прочность и устойчивость к нагрузкам. Наличие различных фаз или компонентов также может указывать на сложный процесс формирования материала и его неоднородность.

Рентгеновская дифракция показывает наличие кристаллических фаз, с основным пиком на  $27^\circ$  и несколькими дополнительными пиками. Это указывает на сложный состав материала, включающий различные минеральные компоненты.

Получены новые материалы: наночастицы диоксида кремния из отходов редкометаллической руды, геополимерный материал из золошлаковых отходов, материал, содержащий фазовый электропроводящий состав из отходов редкометаллической и золотосодержащей руды.

## Благодарность

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21881939).*

*This research has been is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant №. BR21881939).*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tan N. Определение содержания кремния в металлургическом кремниевом рафинированном шлаке с использованием метода химического анализа ступенчатого растворения. / Tan N., Han S., Wei K. et al. // *Silicon*. 2024. Вып. 16. С. 123-132 (на английском языке)
2. He Q. Отделение и переработка элементарного кремния из отходов промышленного кремниевого шлака. / He Q., Zhao H., Qian S. et al. // *Metall Mater Trans B*. 2021. №1. С. 442-453 (на английском языке)
3. Monica Moen, Terje Halvorsen, Knut Mørk, Sjur Velken. Переработка кремниевого металлического порошка из промышленных потоков порошка: отчет о металлическом порошке, 2017, Т. 72, Вып. 3, 182-187 с. (на английском языке)

4. Zaurе Karshigina. Извлечение редкоземельных металлов и осажденного диоксида кремния из фосфорных шлаков. / Zaurе Karshigina, Zinesh Abisheva, Yelena Bochevskaya, Ata Akcil, Elmira Sargelova. // *Minerals Engineering*. 2015. Т. 77. С. 159-166 (на английском языке)
5. Koen Binnemans. Переработка редкоземельных металлов: критический обзор. / Koen Binnemans, Peter Tom Jones, Bart Blanpain, Tom Van Gerven, Yongxiang Yang, Allan Walton, Matthias Buchert. // *Журнал чистого производства*. 2013. Т. 51. С. 1-22 (на английском языке)
6. M. Panayotova, N. Mirdzveli, V. Panayotov. Полезные наночастицы из отходов горнодобывающей промышленности и кислотных дренажных вод. // *Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде*, 2023, №1. – С. 012063 (на английском языке)
7. Daiane R.S. Cruz. Переработка горнодобывающего сырья при синтезе магнитных наноматериалов для удаления нитрофенола и полициклических ароматических углеводородов. / Daiane R.S. Cruz, Iris A.A. Silva, Rhayza V.M. Oliveira, Marco A.P. Buzinaro, Benilde F.O. Costa, Grazielle C. Cunha, Luciane P.C. Romão. // *Chemical Physics Letters*. 2021. Т. 771. № ст. 138482 (на английском языке)
8. Rojin Eghbali. Извлечение марганца из низкосортных отходов и его валоризация путем синтеза наноструктурированного магнитного феррита марганца. / Rojin Eghbali, Parsa Khanmohammadi Hazaveh, Fereshteh Rashchi, Abolghasem Ataie. // *Материаловедение и инженерия: В*. 2021. Т. 269. № ст. 115177 (на английском языке)
9. Hossain Sk S. Недавний прогресс в области нанотехнологий, полученных из шихтеса. Кремнезем: синтез, свойства и применение. / Hossain Sk S., Chang-Jun Bae, Roy P.K. // *Журнал чистого производства*. 2022. Т. 377. С. 134418 (на английском языке)
10. Matinde E. Горно-металлургические отходы: обзор практики переработки и повторного использования. / Matinde E., Simate G.S., Ndlovu, S. // *Журнал Южноафриканского института горного дела и металлургии*. 2018. №118 (8). С. 825-844 (на английском языке)
11. Shuai Rao. Селективное извлечение цинка, галлия и германия из остатков цинкового завода с использованием стадии кислотного и щелочного выщелачивания. / Shuai Rao, Dongxing Wang, Zhiqiang Liu, Kuifang Zhang, Hongyang Cao, Jinzhang Tao. // *Гидрометаллургия*. 2019. Т. 183. С. 38-44 (на английском языке)
12. Farirai F. Методы извлечения кремния и кремния из золы сельскохозяйственных отходов и применение полученного кремния в солнечных элементах: мини-обзор. / Farirai F., Ozonoh M., Aniokele T.C., Eterigho-Ikelegbe O., Mura M., Zeyi B., Daramola M.O. // *Международный журнал устойчивой инженерии*. 2020. №14 (1). С. 57-78 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Tap N. Екі сатылы ерітілген химиялық талдау әдісімен металлургиялық дәрежедегі кремний тазартылған шлактағы кремний құрамын анықтау. / Tap N., Han S., Wei K. және т.б. // *Silicon*. 2024. Шығ. 16. Б. 123-132 (ағылшын тілінде)
2. He Q. Өнеркәсіптік кремний шлактарынан элементтік кремнийді бөлу және қайта өңдеу. / He Q., Zhao H., Qian S. және т.б. // *Metall Mater Trans B*. 2021. №1. Б. 442-453 (ағылшын тілінде)
3. Monica Moen, Terje Halvorsen, Knut Mørk, Sjur Velken. Өнеркәсіптік ұнтақ қалдықтарынан алынған кремний металл ұнтағын қайта өңдеу: металл ұнтағы туралы есеп, 2017, Т. 72, Шығ. 3, 182-187 б. (ағылшын тілінде)
4. Zaurе Karshigina. Фосфор шлағынан сирек жер металдары мен тұндырылған кремний диоксидін қалпына келтіру. / Zaurе Karshigina, Zinesh Abisheva, Yelena Bochevskaya, Ata Akcil, Elmira Sargelova. // *Минералдар инженериясы*. 2015. Т. 77. Б. 159-1608 (ағылшын тілінде)
5. Koen Binnemans. Сирек жерді қайта өңдеу: сыни шолу. / Koen Binnemans, Peter Tom Jones, Bart Blanpain, Tom Van Gerven, Yongxiang Yang, Allan Walton, Matthias Buchert. // *Таза өндіріс журналы*. 2013. Т. 51. Б. 1-22 (ағылшын тілінде)
6. M. Panayotova, N. Mirdzveli, V. Panayotov. Тау-кен қалдықтары мен қышқыл шахта дренажынан алынған пайдалы нанобөлшектер. // *IOP конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылым*, 2023, №1. – Б. 012063 (ағылшын тілінде)
7. Daiane R.S. Нитрофенол мен полициклді ароматты көмірсутектерді жоюға арналған магниттік наноматериалдарды синтездеу кезінде тау-кен қалдықтарын қайта өңдеу. / Daiane R.S. Cruz, Iris A.A. Silva, Rhayza V.M. Oliveira, Marco A.P. Buzinaro, Benilde F.O. Costa, Grazielle C. Cunha, Luciane P.C. Romão. // *Chemical Physics Letters*. 2021. Шығ. 771. мақ. №138482 (ағылшын тілінде)
8. Rojin Eghbali, Parsa Khanmohammadi Hazaveh, Fereshteh Rashchi, Abolghasem Ataie. Марганецті төмен сұрыпты қалдықтардан қалпына келтіру және наноқұрылымды магниттік марганец

ферритін синтездеу арқылы валоризация. / Rojin Eghbali, Parsa Khanmohammadi Hazaveh, Fereshteh Rashchi, Abolghasem Ataie. // *Materials Science and Engineering: B*. 2021. Шығ. 269. мақ. №115177 (ағылшын тілінде)

9. Hossain Sk S. Нано кремнийден алынған қалдықтардың соңғы барысы: Синтез, қасиеттері және қолдану. / Hossain Sk S., Chang-Jun Bae, Roy P.K. // *Таза өндіріс журналы*. 2022. Т. 377. Б. 134418 (ағылшын тілінде)
10. Matinde E. Тау-кен және металлургиялық қалдықтар: қайта өңдеу және қайта пайдалану тәжірибесіне шолу. / Matinde E., Simate G.S., Ndlovu S. *Оңтүстік Африка тау-кен және металлургия институтының журналы*. 2018. №118 (8). Б. 825-844 (ағылшын тілінде)
11. Shuai Rao. Екі сатылы қышқылды және сілтілі сілтісіздендіруді қолдана отырып, мырыш, галлий және германийді мырыш өңдеу зауытының қалдықтарынан іріктен алу. / Shuai Rao, Dongxing Wang, Zhiqiang Liu, Kuifang Zhang, Hongyang Cao, Jinzhang Tao. // *Гидрометаллургия*. 2019. Т. 183. Б. 38-44 (ағылшын тілінде)
12. Farirai F. Ауылшаруашылық қалдықтарынан кремний мен кремнийді алу және алынған кремнийді күн батареяларында қолдану әдістері: шағын шолу. / Farirai F., Ozonoh M., Aniokete T.C., Eterigho-Ikelegbe O., Mupa M., Zeyi B., Daramola M.O. // *International Journal of Sustainable Engineering*. 2020. №14(1). Б. 57-78 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Tan N. Determination of Silicon Content in Metallurgical-Grade Silicon Refined Slag using Two-Step Dissolution Chemical Analysis Method. / Tan N., Han S., Wei K. et al. // *Silicon*. 2024. Vol. 16. P. 123-132 (in English)
2. He Q. Separating and Recycling of Elemental Silicon from Wasted Industrial Silicon Slag. / He Q., Zhao H., Qian S. et al. // *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2021. №1. P. 442-453 (in English)
3. Monica Moen, Terje Halvorsen, Knut Mørk, Sjur Velken, Recycling of silicon metal powder from industrial powder waste streams: Metal Powder Report, 2017, Vol. 72, Issue 3, 182-187 p. (in English)
4. Zaur Karshigina. Recovery of rare earth metals and precipitated silicon dioxide from phosphorus slag. / Zaur Karshigina, Zinesh Abisheva, Yelena Bochevskaya, Ata Akcil, Elmira Sargelova. // *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 77. P. 159-166 (in English)
5. Koen Binnemans. Recycling of rare earths: a critical review. / Koen Binnemans, Peter Tom Jones, Bart Blanpain, Tom Van Gerven, Yongxiang Yang, Allan Walton, Matthias Buchert. // *Journal of Cleaner Production*. 2013. Vol. 51. P. 1-22 (in English)
6. M. Panayotova, N. Mirdzveli, V. Panayotov. Useful nanoparticles from mining waste and acid mine drainage. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, №1. – P. 012063 (in English)
7. Daiane R.S. Cruz. Recycling of mining waste in the synthesis of magnetic nanomaterials for removal of nitrophenol and polycyclic aromatic hydrocarbons. / Daiane R.S. Cruz, Iris A.A. Silva, Rhayza V.M. Oliveira, Marco A.P. Buzinaro, Benilde F.O. Costa, Grazielle C. Cunha, Luciane P.C. Romão. // *Chemical Physics Letters*. 2021. Vol. 771. art. №138482 (in English)
8. Rojin Eghbali. Recovery of manganese from a low-grade waste and valorization via the synthesis of a nanostructured magnetic manganese ferrite. / Rojin Eghbali, Parsa Khanmohammadi Hazaveh, Fereshteh Rashchi, Abolghasem Ataie. // *Materials Science and Engineering: B*. 2021. Vol. 269. art. №115177 (in English)
9. Hossain Sk S. Recent progress of wastes derived nano-silica: Synthesis, properties, and applications. / Hossain Sk S., Chang-Jun Bae, Roy P.K. // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 377. P. 134418 (in English)
10. Matinde E. Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices. / Matinde E., Simate G.S., Ndlovu S. // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2018. №118 (8). P. 825-844 (in English)
11. Shuai Rao. Selective extraction of zinc, gallium, and germanium from zinc refinery residue using two stage acid and alkaline leaching. / Shuai Rao, Dongxing Wang, Zhiqiang Liu, Kuifang Zhang, Hongyang Cao, Jinzhang Tao. // *Hydrometallurgy*. 2019. Vol. 183. P. 38-44 (in English)
12. Farirai F. Methods of extracting silica and silicon from agricultural waste ashes and application of the produced silicon in solar cells: a mini-review. / Farirai F., Ozonoh M., Aniokete T.C., Eterigho-Ikelegbe O., Mupa M., Zeyi B., Daramola M.O. // *International Journal of Sustainable Engineering*. 2020. №14 (1). P. 57-78 (in English)



**Сведения об авторах:**

**Бейсебаева А.С.**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.s.beisebayeva@satbayev.university](mailto:a.s.beisebayeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0009-0004-6097-5384>

**Жарылкан С.М.**, магистр, МНС лаборатории инженерного профиля, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [saulzharylkan0708@gmail.com](mailto:saulzharylkan0708@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0003-1600-2115>

**Есжан Е.Н.**, магистр, МНС лаборатории инженерного профиля, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [yelriza.yezhan@gmail.com](mailto:yelriza.yezhan@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-4523-1211>

**Азат С.**, PhD, ассоциированный профессор, зав. лаб. инженерного профиля, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.seitkhan@satbayev.university](mailto:a.seitkhan@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-9705-7438>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Бейсебаева А.С.**, физика-математика ғылым кандидаты, «Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасының доценті Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Жарылкан С.М.**, магистр, инженерлік-бейінді зертханасының КФК, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Есжан Е.Н.**, магистр, инженерлік-бейінді зертханасының КФК, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Азат С.**, PhD, қауымдастырылған профессор, инженерлік-бейінді зертханасының меңгерушісі Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Beisebayeva A.S.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of «Materials Science, Nanotechnology and Engineering Physics» (Almaty, Kazakhstan)

**Zharylkan S.M.**, master Junior Researcher, Engineering Laboratory (Almaty, Kazakhstan)

**Yezhan Y.N.**, master Junior Researcher, Engineering Laboratory (Almaty, Kazakhstan)

**Azat S.**, PhD, associate professor, Satpayev university, head of engineering laboratory (Almaty, Kazakhstan)



GO DIGITAL  
EURASIA

Конференция + выставка в  
формате живого общения  
16-17 октября 2024



Smartgopro

Код МРНТИ 36.23.31

\*Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева  
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## ТЕМІРТАУ ҚАЛАСЫНЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ЛАСТАНУЫН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ

**Аннотация.** Теміртау ең үлкен металлургиялық қалдық қоймалары шоғырланған, соңғы уақытта ауаның ластануы бойынша өте жоғары көрсеткіштерді көрсететін өнеркәсіптік қала. Сондықтан аумақтың ауасы мен топырағының ластануын қашықтықтан зондтау арқылы бағалау өте маңызды мәселеге айналып отыр. Ал мақалада, 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы мәліметтер негізінде, қашықтықтан зондтау технологиясын қолдана отырып, 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерімен өсімдіктердің өсу сапасын талдау, LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік, Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластану дәрежесін бақылау және Sentinel-5 TROPOMI арқылы ультракүлгін мен қысқа толқынды инфрақызыл сәуле көмегімен 2019, 2024 жылғы мамыр айындағы орташа айлық  $NO_2$  мәнін зерделеу арқылы қала ауасының ластануы қарастырылды.

**Түйінді сөздер:** Теміртау, қашықтықтан зондтау, бағалау, өнеркәсіп, ластану, экология.

### Assessment of industrial pollution of the city of Temirtau by remote sensing

**Abstract.** Temirtau is an industrial city with the largest metallurgical waste storage facilities, recently showing very high indicators of air pollution. Therefore, the assessment of air and soil pollution of the territory by remote sensing is becoming a significant issue. In the article, based on data on the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2020, analysis of the quality of plant growth with LANDSAT 8 images for 2023 using remote sensing technology, monitoring the degree of soil pollution in 1993, 2006, 2018 and 2023 based on LANDSAT 5, 7, 8 satellite, Land Cover time data and studying the average monthly value  $NO_2$  for May 2019, 2024 using ultraviolet and short-wave infrared radiation by Sentinel-5 TROPOMI was considered.

**Key words:** Temirtau, remote sensing, assessment, industry, pollution, ecology.

### Оценка промышленного загрязнения города Темиртау дистанционным зондированием

**Аннотация.** Теміртау – промышленный город, в котором сосредоточены крупнейшие металлургические хвостохранилища, что в последнее время показывают очень высокие показатели по загрязнению воздуха. Поэтому оценка загрязнения воздуха и почвы территории с помощью дистанционного зондирования становится очень важной проблемой. А в статье, на основе данных об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2020 год, анализ качества роста растений с помощью изображений LANDSAT 8 за 2023 год с использованием технологии дистанционного зондирования, мониторинг степени загрязнения почв за 1993, 2006, 2018 и 2023 годы на основе спутниковых данных LANDSAT 5, 7, 8, Land Cover Time и Sentinel-5 было рассмотрено загрязнение городского воздуха путем изучения среднемесячного значения  $NO_2$  за май 2019, 2024 годы с использованием ультрафиолетового и коротковолнового инфракрасного излучения через TROPOMI.

**Ключевые слова:** Теміртау, дистанционное зондирование, оценка, промышленность, загрязнение, экология.

### Кіріспе

Адам денсаулығына зиянды қоршаған ортаны ластаушы заттар көбінесе антропогендік әрекеттерден туындап, ауаның, судың және топырақтың ластануына алып келеді. Индустрияландыру дамуға ықпал еткенімен, қоршаған ортадағы ластаушы заттардың деңгейін айтарлықтай арттырады [1]. Қалалық және өнеркәсіптік аймақтарда адам ағзасында улы металдардың, әсіресе мышьяк (*As*), хром (*Cr*), никель (*Ni*), мыс (*Cu*), қорғасын (*Pb*) және мырыш (*Zn*) көп мөлшерде жиналуы, ал ауада газ тәріздес ластаушы заттар, химиялық қосылыстардың газдары мен булары (мысалы, көміртегі оксидтері ( $CO$  және  $CO_2$ ), күкірт ( $SO_2$  және  $SO_3$ ), азот оксидтері ( $NOx$ )), қатты заттар, бейорганикалық және органикалық бөлшектердің ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) бөлінуі адам денсаулығына қауіп төндіреді [2, 3]. Оның ішінде жүйке және ас қорыту жүйесінің бұзылуы (мысалы, безеу, аллергия, анемия, анорексия, артрит, сіатика, шизофрения), ішкі органдардың қалыпты жұмысы (мысалы, өкпе, бүйрек, бауыр), қан айналымы жүйесінің зақымдануы (мысалы, астма және созылмалы бронхит), қан құрамы және басқа да көптеген қолайсыз жағдайлардың туындауына әкеліп соғады [3]. Бұл тенденция ғылыми зерттеушілер арасында кең алаңдаушылық тудыруда [4].

Соңғы жылдары топырақтың және ауаның ластануын зертханалық жұмыстармен қатар, қашықтықтан зондтау технологиясын пайдаланып талдау, кең ауқымда қолданыла бастады. Жерді бақылау, бейнелеу технологиясы жоғары кеңістіктік-уақыттық және спектрлік ажыратымдылығы бар қашықтықтан түсірілетін спутниктік сурет-

тер көмегімен энергия түрі, платформа, спектр аймағы және спектрлік жолақтар негізінде талдауға қолжетімді болып қана қоймай [5, 6, 7], бұрынғы қалыптасқан зерттеумен салыстырғанда, төмен баға, қысқа уақытта ақпаратты алу және мерзімді бақылауда өте тиімді болып саналып отыр [8].

### Зерттеу әдістері және материалдары

«Қарағанды облысы бойынша экология департаменті» ММ деректеріне сәйкес Қарағанды облысында қоршаған ортаға эмиссияны жүзеге асыратын 332 кәсіпорын жұмыс істейді. Стационарлық көздерден ластаушы заттардың нақты жиынтық шығарындылары 585 мың тоннаны құрайды.

Ластанудың негізгі көздері «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС, «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (Qarmet АҚ), «ТЭМК» АҚ ХМЗ, автомобиль көлігі, қатты тұрмыстық қалдықтар полигондары, жылу электр орталығы, құю-механикалық зауыты, теміржол көлігі кәсіпорны және автокөлік кәсіпорындары болып табылады. Ал Теміртау қаласы 2023 жылғы сәуірдегі Қазақстан Республикасының атмосфералық ауасының сапасын бағалау көрсеткіші бойынша ластану дәрежесі өте жоғары деңгейдегі 4 елді мекен қатарына кірді, сонымен қатар соңғы 5 жылда аталмыш қалада атмосфералық ауаның ластануының тұрақты жоғары деңгейі сақталып отыр<sup>1</sup>.

Теміртау қаласында «АрселорМиттал Теміртау» АҚ Қазақстандағы ең ірі металлургиялық өндірістік кәсіпорын және металлургиялық қалдық қоймалары ( $73^{\circ}05' - 73^{\circ}55'$

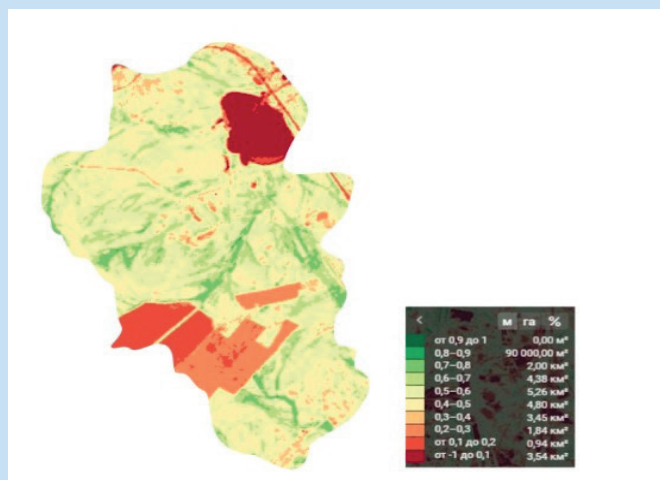
<sup>1</sup>ҚР қоршаған ортасының жай-күйі туралы ақпараттық бюллетень: сайт. Экология және табиғи ресурстар министрлігі, ҚР, 2023. URL: <https://ecogofond.kz/> (өтініш берген күні: 04. 2023). Кіру режимі: үшін барлық пайдаланушылар.

шығыс бойлық және 50°00'-50°45' солтүстік ендік) орналасқан. Бұл қалдық қойманың ауданы шамамен 5000 км<sup>2</sup> құрайды. Сондай ақ Қазақстанның зерттеу институттары нәтижесі бойынша Теміртаудағы полиметалдармен ластану дәрежесі «төмен» деп бағаланып, бірақ топырақтың 40 пайызының ластану индексі өте жоғары екенін дәлелдеді<sup>1</sup>. Осы Теміртаудағы жердің ластануы тау-кен және металлургия өнеркәсібінің қалдықтарымен байланысты болып келеді. «Қазгидромет» РМК топырақтың ауыр металдармен ластануын бақылау есебі бойынша 2020 жылдың көктемгі-күзгі мезгіліндегі зерттеу нәтижесіне сәйкес, Теміртау қаласында топырақ сынамалары құрамында көп мөлшерде мырыш 26,4 мг/кг, мыс 3,64 мг/кг, хром 2,84 мг/кг, қорғасын 37,8 мг/кг және кадмий 0,64 мг/кг ауыр металдар концентрациясы анықталған<sup>2</sup>. Ал бұл мақалада 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы мәліметтер мен салыстыра отырып, қашықтықтан зондтау технологиясы арқылы 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерімен өсімдіктердің өсу сапасын саралауда жолақтарды біріктіру әдісі арқылы электромагниттік спектрдің жарықтық деректеріндегі жақын инфрақызыл (Nir) жолақтарды 10 м ажыратымдылықта және 20 м-лік дәлдікте қызыл (red) сәулелерді дәлдігін есептеу кезінде туралау немесе интерполяция әдістері қолданылды. LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік, Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластану дәрежесін бақылауда жоғары кеңістіктік ажыратымдылық зерттеу мәліметтерін пайдалана отырып, зерттеліп отырылған аумақтың эрозияға ұшырау картасы ArcGIS-ті бағдарламасында жасап ұсынылды. Сонымен қатар Sentinel-5 TROPOMI арқылы ультракүлгін мен қысқа толқынды инфрақызыл сәуле көмегімен 2019, 2024 жылғы мамыр айындағы орташа айлық NO<sub>2</sub> мәнін зерделеу арқылы қала ауасының ластануы еліміз жариялаған мәліметтеге сәйкестігі қарастырылды.

**Зерттеу нәтижелері мен талқылау**

Теміртау қаласы бойынша статистикалық мәліметте көрсетілген топырақтың ластану концентрациясы мен LANDSAT 8 спутниктік суреттердегі NDVI көрсеткіштерінің сәйкестігін бағалау үшін, 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы деректерінде көрсетілген ауыр металдардың ластану көрсеткішін негізге ала отырып, зерттеу аймағының LANDSAT 8 суреттерінің өсімдік жамылғысының сапасына талдау жүргізілді (1 – сурет). Нәтижесінде Теміртау қаласының маңында NDVI көрсеткіші 0,6 жоғары мәні аз аумақты, 0,6 төмен көп мөлшерді алып жатса, ал өте қызыл түстер қаланың өзінде кездесіп отыр. Бұл дегеніміз жоғарыдағы зерттеу нәтижелері мен спутниктік суреттер мәліметтері нақты ластанған аумақты көрсете алатындығы дәлелденді.

Топырақтың ластануы, топырақ деградациясының бір типтік құбылысы ксенобиотиктердің химиялық заттардың болуымен немесе табиғи топырақ ортасындағы



**Сурет 1. 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерден алынған NDVI көрсеткіші.**

**Figure 1. NDVI indicator from the 2023 LANDSAT 8 images.**

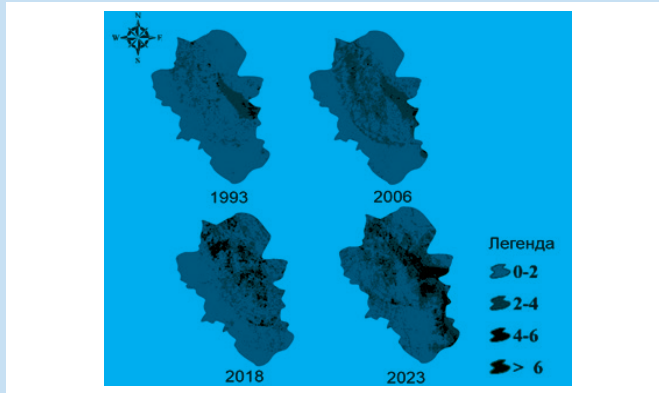
**Рис. 1. Показатель NDVI по изображениям LANDSAT 8 2023 года.**

басқа өзгерістерден, өнеркәсіптік қызметтен, ауылшаруашылық химикаттарынан және қалдықтарды дұрыс пайдаланбаудан туындайды. Ең көп таралған ластаушыларға мұнай көмірсутектері, полиядролық ароматты көмірсутектер (мысалы, нафталин және бензопирен), еріткіштер, пестицидтер және ауыр металдар жатады. Күрделі ыдырау, оңай жиналу және гистерезис сипаттамаларына байланысты топырақтағы ауыр металдармен ластану мәселесі ең маңызды болып табылады [9]. Бұл әдетте топырақтың жаһандық деградациясын, адам денсаулығын және азық-түлік қауіпсіздігін одан әрі күшейтеді. Сондықтан, топырақтың деградациясын бақылау топырақ қауіптерін, функцияларын және экожүйе қызметтері арасындағы байланысты тепе теңдік қатынасты орнатуда, ГАЗ және қашықтықтан зондтаудағы кеңістіктік, спектрлік және уақыттық ажыратымдылықтағы датчиктерден алынған үлкен деректер жиынтығымен бірге талдау және модельдеу құралдарын қолдануда маңыздылығы арта түсеуде.

Тарихи жағдайларды көрсететін экологиялық деректер жиынтығы, спутниктік суреттер және Land Cover Time Series бағдарламасындағы жергілікті өсімдіктерін динамикалық өзгеріс көрсеткіштерді есептеу ArcGIS бағдарламасында топырақтың деградацияға ұшырау картасын жасау арқылы топырақтың сапасын талдауға болады. Сондықтан соңғы 30 жылдағы LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік мен Land Cover Time деректеріне сүйене отырып 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақ өзгерістерін және жер жамылғысының өзгеру тенденциялары арқылы ArcGIS бағдарламасында картасы жасалынды. 2 – суреттерде Теміртау ауданының топырақтарында 1993, 2006 және 2018 жылдардағы топырақтың

<sup>1</sup>Қарағанды облыстық экологиялық мұражайы қоғамдық бірлестігі: сайт. Қарағанды, 2016. URL: <https://ecomuseum.kz/> (өмініш берген күні: 05.2015). Кіру режімі: барлық пайдаланушылар үшін.

<sup>2</sup>Қазақстанның ұлттық гидрометеорологиялық қызметі туралы: офицер. сайт. ҚР. Күні бойы жаңартылады. URL: <https://kazhydromet.kz/ru/> (өмініш берген күні: 16.02.2024).



**Сурет 2. 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластануы.**

**Figure 2. Soil pollution in 1993, 2006, 2018 and 2023.**  
**Рис. 2. Загрязнение почвы в 1993, 2006, 2018 и 2023 годах.**

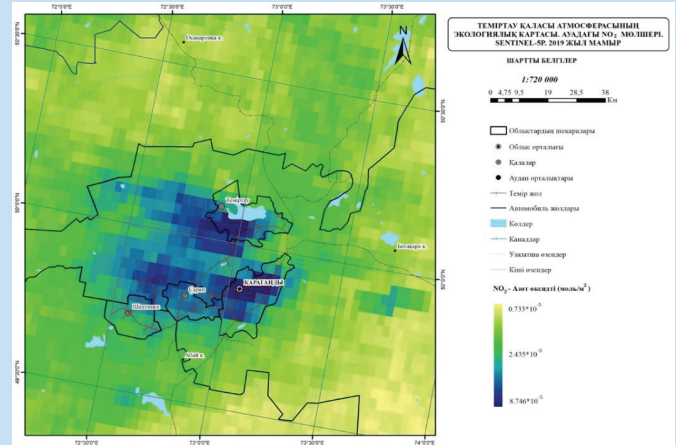
сапасы туралы карталарда ластанған аймақтардың беткі жамылғысы және деградацияға ұшыраған топырақтың түстік өзгерістерінен, ластанудың жыл сайын артқандығын көруге болады.

Қашықтықтан зондтауда Sentinel-5 TROPOMI-дағы ультракүлгін және қысқа толқынды инфрақызыл сәулелер арасындағы толқын ұзындығының диапазондарын қамтитын NADIR көру және бейнелеу спектрометрі арқылы атмосфераның жоғарғы қабатындағы шағылысқан және одан шығатын күн радиациясын өлшеу арқылы зеттелген аумақтың 2019 және 2024 жылғы ауадағы  $NO_2$  көрсеткішін талдауда 5-12 суреттер қолданылып, мамыр айының орташа көрсеткіші негіз етіліп жасалынды. 3,4 – суретте көрсетілгендей 2019 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіші  $8,746 \cdot 10^{-5}$  көрсетті, әрі Қарағанды обылысында толықтай таралған. Ал 2024 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіші  $11,41 \cdot 10^{-5}$  көрсетіп, негізінен Теміртау қаласында екендігі дәлелденіп отыр.

Осылайша өнеркәсіпті дамыту халықтың әлеуметтік – экономикалық жағынан тиімді болғанымен, экожүйе және Теміртау сияқты жылдар бойы қалдықтар қоймаланған қала тұрғындар үшін өте қауіпті, сондықтан ауа мен топырақ сапасын уақытылы бақылау, бағалау және саралау үшін зертханалық зерттеулермен қатар қашықтықтан зондтау деректерін қолдану маңызды болып саналады.

### Қорытынды

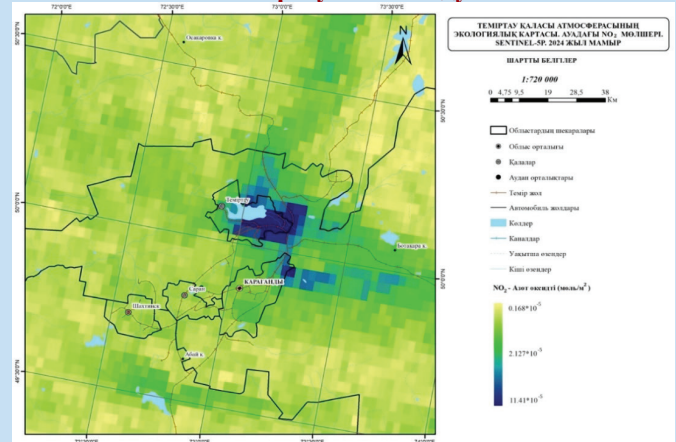
Қорытындылай келе, өнеркәсіптік қала Теміртауда металлургиялық қалдық қоймаларының көп жыл бойы қоймалануы, 2020 жылға арналған Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы мәліметтерінде көрсетілгендей, ауа мен топырақтың ластануы бойынша өте жоғары көрсеткіштерді көрсеткен болса, ал біздің қашықтықтан зондтау деректері арқылы зерттеуде ол нақтылана түсті. 2023 жылғы LANDSAT 8 суреттерін талдауда өсімдіктердің өсу сапасының төмендегенін көр-



**Сурет 3. Теміртау қаласының 2019 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіш картасы.**

**Figure 3. Map of  $NO_2$  indicators in the air of Temirtau in 2019.**

**Рис. 3. Карта показателей  $NO_2$  в воздухе города Темиртау в 2019 году.**



**Сурет 4. Теміртау қаласының 2024 жылы ауадағы  $NO_2$  көрсеткіш картасы.**

**Figure 4. Map of  $NO_2$  indicators in the air of Temirtau in 2024.**

**Рис. 4. Карта показателей  $NO_2$  в воздухе города Темиртау в 2024 году.**

сетті. Ал LANDSAT 5,7,8 спутниктік, Land Cover Time деректері негізінде 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластануының артуы дәлелденді. Сонымен қатар Sentinel-5 TROPOMI арқылы ультракүлгін мен қысқа толқынды инфрақызыл сәуле көмегімен  $NO_2$  мәнін зерделеуде, 2019, 2024 жылғы мамыр айындағы ауасының ластану көрсеткішінің артқандығы айқындалды.

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

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Дауыстан С.С. Сауд арабиясының өнеркәсіптік ортасындағы топырақта және жергілікті өсімдіктерде ауыр металдардың жиналуын бағалау. / С.С. Дауыстан, К.Д. Алотайби, К.Ф. Әл-мутаири, Ф.Н. Әл-барака. // *Sustainability*. 2022. Т. 14. №10. Б. 1 -15 (ағылшын тілінде)
2. Беата Вицзорец. Орталық-шығыс еуропадағы ТРОПОМИДЕН алынған SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> және CO ауаның ластану заңдылықтарын картаға түсіру. // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. №6. Б. 1-28 (ағылшын тілінде)
3. Пэн И. Қашықтықтан зондтау және көмекші деректерді пайдалана отырып, Катар топырақтарындағы улы металдарды цифрлық картаға түсіру. / И. Пэн., Б.Х. Рания, А. Кабиндра, М. Радослав, Б.Г. Метте, К. Мария, Х.Г. Могенс. // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. №12. Б. 1- 19 (ағылшын тілінде)
4. Баунти К. Топырақтағы ықтимал улы элементтердің таралуын геохимиялық және геоморфологиялық бақылауды зерттеудің тұтас әдістемесі. / К. Баунти, Д. Барраган, Н. Гарсия-Гонсалес, Р. Форджан, А. Коллинз, Дж. Гальего. // *Catena*. 2022. Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
5. Чжоу Т. Машиналық оқыту алгоритмдеріне негізделген DEM Sentinel-1 және Sentinel-2 деректерінің туындыларын пайдалана отырып, топырақтың органикалық көміртегі мен топырақтың жалпы азотын жоғары ажыратымдылықтағы цифрлық картаға түсіру. / Т. Чжоу, Я. Гэн, Д. Чен, Ц. Пан, Д. Хаас, А. Лауш. // *The Science of the Total Environment*. 2020. Т. 729. Б. 1- 15 (ағылшын тілінде)
6. Ивушкин К. Топырақ тұздылығының өзгеруінің жаһандық картасы. / К. Ивушкин, Х. Бартоломей, А.К. Брегт, А. Пулатов, Б. Кемпен, Л. Де Соуса. // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Т. 231. Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
7. Ли Ч.Л. Топырақтың ылғалдылығын қашықтықтан зондтау өлшеулерінен алу: Қазіргі білім және болашаққа арналған бағыттар. / Ч.Л. Ли, П. Ленг, С. Чжоу, К.Ш. Чен, Ф.Ч. Чжоу, Г.Ф. Шан. // *Earth-Science Reviews*. 2021. Т. 218. Б. 1-13 (ағылшын тілінде)
8. Лян С. Жетілдірілген қашықтықтан зондтау: Жердегі ақпаратты алу және қолдану. / Лян С., Ван Дж. // Оксфорд: Академиялық Баспасөз. 2019. Т. 2. Б. 1010 (ағылшын тілінде)
9. Хорта А. Топырақтың ластануын жақсартылған бағалау үшін интеграцияланған далалық спектроскопия мен кеңістіктік талдаудың Әлеуеті: перспективалық шолу. / А. Орта, Б. Мэлоун, У. Стокманн, Б. Минасны, Т.Ф. Бишоп, А.Б. Макбратни, Р. Паллассер, Л. Поцца. // *Geoderma*. 2015. Т. 241-242. Б. 180-209 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Aloud S.S. Assessment of Heavy Metals Accumulation in Soil and Native Plants in an Industrial Environment, Saudi Arabia. / Aloud S.S., Alotaibi K.D., Almutairi K.F., Albarakah F.N. // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. №10. P. 1-15 (in English)
2. Beata Wiczoerek. Air Pollution Patterns Mapping of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and CO Derived from TROPOMI over Central-East Europe. // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. №6. P. 1- 28 (in English)
3. Yi P. Digital Mapping of Toxic Metals in Qatari Soils Using Remote Sensing and Ancillary Data. / Yi P., Rania B.K., Kabindra A., Radosław M., Mette B.G., Maria K., Mogens H.G. // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. №12. P. 1-19 (in English)
4. Boente C. A holistic methodology to study geochemical and geomorphological control of the distribution of potentially toxic elements in soil. / Boente C., Baragano D., García-González N., Forjan R., Colina A., Gallego J.R. // *Catena*. 2022. P. 1-12 (in English)
5. Zhou T. High-resolution digital mapping of soil organic carbon and soil total nitrogen using DEM derivatives, Sentinel-1 and Sentinel-2 data based on machine learning algorithms. / Zhou T., Geng Y., Chen J., Pan J., Haase D., Lausch A. // *The Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 729. P. 1-15 (in English)
6. Ivushkin K., Bartholomeus H., Bregt A. K., Pulatov A., Kempen B., de Sousa L. Global mapping of soil salinity change // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 231. P. 1-12 (in English)
7. Li Z.L. Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. / Li Z.L., Leng P., Zhou C., Chen, K.S., Zhou, F.C., Shang, G.F. // *Earth-Science Reviews*. 2021. Vol. 218. P. 1-13 (in English)
8. Liang S., Wang J. Advanced remote sensing: Terrestrial information extraction and applications: Oxford: Academic Press. 2019. Vol. 2. P. 1010 (in English)
9. Horta A. Potential of integrated field spectroscopy and spatial analysis for enhanced assessment of soil contamination: A prospective review. / Horta A., Malone B., Stockmann U., Minasny B., Bishop T.F., A. McBratney A.B., Pallasser R., Pozza L. // *Geoderma*. 2015. Vol. 241-242. P. 180-209 (in English)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дауыстап С.С. Оценка накопления тяжелых металлов в почве и местных растениях в промышленных условиях, Саудовская Аравия. / С.С. Дауыстап, К.Д. Алотайби, К.Ф. Эл-мутаири, Ф.Н. Эл-барак. // *Sustainability*. 2022. Т. 14. №10. С. 1-15 (на английском языке)
2. Беата Вицзорец. Составление карт загрязнения воздуха SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> и CO по данным TROPOMI над Центрально-Восточной Европой. // *Remote Sens*. 2023. Vol. 15. №6. С. 1-28 (на английском языке)
3. Пэн И. Цифровое картирование токсичных металлов в почвах Катара с использованием дистанционного зондирования и вспомогательных данных. / И. Пэн., Б.Х. Рания, А. Кабиндра, М. Радослав, Б.Г. Метте, К. Мария, Х.Г. Могенс. // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. №12. С. 1-19 (на английском языке)
4. Баунти К. Целостная методология изучения геохимического и геоморфологического контроля за распределением потенциально токсичных элементов в почве. / К. Баунти, Д. Барраган, Н. Гарсия-Гонсалес, Р. Форджан, А. Коллинз, Дж. Гальего. // *Catena*. 2022. С. 1-12 (на английском языке)
5. Чжоу Т. Цифровое картирование органического углерода в почве и общего азота в почве с высоким разрешением с использованием данных DEM-производных Sentinel-1 и Sentinel -2, основанных на алгоритмах машинного обучения. / Т. Чжоу, Я. Гэн, Д. Чен, Ц. Пан, Д. Хаас, А. Лауш. // *The Science of the Total Environment*. 2020. Т. 729. С. 1-15 (на английском языке)
6. Ивушкин К. Глобальное картографирование изменения засоленности почв. / К. Ивушкин, Х. Бартоломей, А.К. Брегт, А. Пулатов, Б. Кемпен, Л. Де Соуса. // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Т. 231. С. 1-12 (на английском языке)
7. Ли Ч.Л. Определение влажности почвы по данным дистанционного зондирования: современные знания и направления на будущее. / Ч.Л. Ли, П. Ленг, С. Чжоу, К.Ш. Чен, Ф.Ч. Чжоу, Г.Ф. Шан. // *Earth-Science Reviews*. 2021. Т. 218. С. 1-13 (на английском языке)
8. Лян С. Усовершенствованное дистанционное зондирование: извлечение и применение наземной информации. / С. Лян, Дж. Ван. // *Oxford: Academic Press*. 2019. Т. 2. С. 1010 (на английском языке)
9. Орта А. Потенциал комплексной полевой спектроскопии и пространственного анализа для улучшенной оценки загрязнения почв: перспективный обзор. / А. Орта, Б. Мэлоун, У. Стокманн, Б. Минасны, Т.Ф. Бишоп, А.Б. Макбратни, Р. Палласер, Л. Поцца. // *Geoderma*. 2015. Т. 241-242. С. 180-209 (на английском языке)

## Авторлар туралы мәліметтер:

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

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

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

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

## Information about the authors:

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

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

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

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

## Сведения об авторах:

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

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

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

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

М.Б. Нұрпейісова

Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## АСЫЛДАР ҰШҚАН, ЖАСЫНДАР ҚОНҒАН ТҰҒЫРЫМЫЗ БҰЛ

Біздердің білім алған алтын ордамыз – Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті және оның бөлінбес бір отауы – Ө.А. Байқоңыров атындағы «Тау-кен-металлургия институты». Бұл кеше Қаныш Имантайұлы Сәтбаевтың арқасында ХХ ғасырдың терезесін теуіп ашып, төрден орын алып, бүгінде Қазақстанның инженерлік білімі мен ғылымының Хан Тәңіріне айналып отырған ҚазҰТЗУ – біздер үшін ұшқан ұямыз да, қонған тұғырымыз да.

Сәтбаевтай геолог, Байқоңыровтай кенші, Есенберлиндей жазушы, Қаңлыбаевадай маркшейдер болуды мектепте жүріп армандаған жастар, осы шаңыраққа талдай болып кіріп, өмір өткелдерінен өтіп келеміз. Оқытушылық-ғылыми қызметте жүріп, ұлы ғұлама ғалым Ақжан Машановтың, өз ісіне мығым әрі іскер ұйымдастырушы Өмірхан Байқоңыровтың ақыл-кеңесін алып, тұтас бір ғылыми-тәрбие мектебінен өттік. Бүгінде «Біз базардан қайтып бара жатырмыз, сендер базарға енді келдіңдер! Аға буыннан үйреніп, жақсы тау-кен мамандарын даярлауға күш салыңдар!» – деп жастарды үйрету кезеңінде жүрміз.

Енді институт, университет тарихына үңілсек. Кімдер оқып, кімдер бітіріп шыққандығы туралы мұрағат құжаттарына көз жүгіртсең, біздің тау-кен-металлургия институты иығына заман жүгін арқалаған, қазақтың нағыз нар азаматтарының бесігі болғанына қуанасың, сүйсінесің, мақтан тұтасың. Олар: Қазақстанның халық жазушысы

И. Есенберлин, Социалистік еңбек ерлері: В.А. Гребенюк, Ғ.А. Омаров, Н.Т. Төкенов, «Халық қаһарманы» – А.С. Куленов, КСРО Мемлекеттік сыйлығының лауреаттары: Д.О. Ешпанов, В.Ш. Шарипов, В.Ф. Щербинин, И.И. Думанов, М.Г. Седлов, С.М. Мауленкулов, Мемлекет қайраткерлері Л.К. Киинов А.Д. Ясько, В.К. Божко, академиктер: А.Ж. Машанов, Ө.А. Байқоңыров, Е.А. Букетов, Ж.С. Ержанов, Ш.Г. Балғожин, Ш.А. Алтаев, М. Рамазанов, Ж.М. Қаңлыбаева, И.А. Онаев, А.Ә. Әшімов, Б.Р. Рақышев, М.Ж. Жақыпов, А.Б. Бегалинов, ақын Иран-Ғайып, кешегі жазушы Медеу Сәрсекке және т.б. осы оқу орнының мақтан тұтар түлектері.

Бұл тек тау-кен металлургия институты үшін ғана емес, бүкіл Сәтбаев университетінің есігін ашып, табалдырығын аттайтын әрбір талапкер, студент үшін тағылымы мол тарих. Әрі жоғарыда аты аталған әрбір азаматтың (аталмағаны қаншама) атқарған еңбектері, ғұмыр баяндары үлгі аларлықтай, өнеге тұтарлықтай. Біздер алтын ұямыздан ұшқан асылдарымызға тағзым ету арқылы да болашақ жастарды тәрбиелейміз. Оларға арналған арнайы мұражайымыз бен аудиторияларымыз бар.

Адам танудың кемеңгері Қ.И. Сәтбаев Қазақстандағы жалғыз техникалық ЖОО нығайтуға барынша күш салған ғұлама және ҰҒА-ының шаңырағын көтеруде, академияның зерттеу институттарын тап осы жоғарғы оқу орны түлектерімен толықтырып отырған. Сондықтан ту бастан



Ғ.А. Омаров



А.С. Куленов



В.А. Гребенюк



Н.Т. Тукенов



Д.О. Ешпанов



А.Ж. Машанов



Ө.А. Байқоңыров



Е.А. Букетов



Ж.С. Ержанов



И. Есенберлин

біздің институтымыздың дамуына мұрындық болған ұлттық мақтанышымыз Қ.И. Сәтбаевтың есіміне ие болу – ҚазҰТЗУ үшін зор мәртебе деп білеміз.

ҚазТКМИ-дің түлегі, кейін ҚазПТИ-ді қалыптастыруға зор еңбек сіңірген академик Ө.А. Байқоңыров есімі университет тарихында алтын әріптермен жазылған, Тау-кен-металлургия институтына Ө.А. Байқоңыров есімі берілген және туғанының 100 жылдығына орай арнайы аудитория ашылған.

ҚазҰТУ-дың алғашқы түлегі, алғашқы аспиранты, фарбитану ғылымының негізін салған, өмірінің ақырғы сағаттарына дейін халқына білім мен ғылымның, өнеге мен үлгінің нұрын шашқан, таусылмайтын рухани мұра қалдырып кеткен, ғұлама ғалым, Ақжан Машанов есімі ҚазҰТЗУ-дың жаратылыстану институтына берілген және арнайы аудитория ашылған.

Еліміздегі білім беру жүйесі қазіргі заман талабына сай өзгерістерге ұшырап, түбегейлі жаңарып жатқаны белгілі. 2021 жылдың сәуірінде, Қ.И. Сәбаевтың 125 жылдығы мен ҚазҰТЗУ-дың құрылғанының 90 жылдығын жоғары дәрежеде өткізу міндетін қойып, Үкіметіміз ұжымға күш жігері бойында, әрқашан жанар таудай лапылдап тұрған жас басшы – М.М. Бегентаевты тағайындады. Осы үш жыл университетімізге үлкен серпіліс берді.

Ректорымыз ҚазҰТЗУ-дың ғимараттары мен жатақханаларын, аудиторияларын, дәліздерін жаңартуға күндіз-түні басында жүріп, жұмыс атқаруда. Ғимараттармыз бір музейге айналғандай күй кешудеміз. Осындай еңбегінің арқасында Мейрам Мұханбетрахымұлы жұртшылықтың сүйіспеншілігіне бөленуде. Мұндай істі кезінде, қазақ ғылымының атасы Қаныш Сәтбаев та жүзеге асырған. Ол Мәскеу басшыларымен тығыз байланыса отыра ҰҒА бүгінгі ғимаратын салуда елеулі еңбегі баршаға мәлім. Сол атасы сияқты, ректорымыз М.М. Бегентаев қай жұмысты

болса да адал атқарып, өзгеден де соны талап етіп отырған жан.

Инженер кадрларды даярлауда, университетіміздің өркендеуіне зор үлес қосқан А. Әшімов, Б. Рақышев, Д. Сулеев, А.Ф. Цеховой, Ұ. Сыдықов сияқты танымал тұлғаларға арналған аудиториялар, орталықтар ашылды. Сонымен қатар, университетіміздің түлегі, есімі Қарағанды мемлекеттік университетіне берілген, ҰҒА-ның академигі, мемлекеттік сыйлықтың лауреаты Е.А. Букетов есімі мәңгі есімізде және келесі жылы Евней Арыстанұлының 100 жылдығына орай аудитория ашу жоспарлап отыр.

Ол үш жылдан астам ректорлық қызметте жүріп, алдыңғы толқын ағалардың алдын қиып өтпей, ақсақалдар алқасының ақыл-кеңесін тыңдап, ізет-құрмет көрсетіп, жастар жағына келгенде айналасына тек талантты, талғамы биік, ой-өлшемі бұлақтың суындай таза, айтқан сөзді ұғып, тапсырған жұмысты бар қабілетімен жүргізетіндерді топтастырды. Соның арқасында университеттегі серпіліп айтар тағы бір жайт – ол соңғы жылдары ғылыми-зерттеу жұмысы жоғары дәрежеде жүргізіп жатқаны және халықаралық байланыстардың көрініс табуы.

Біздің мақсатымыз – заманға лайық білім беріп, Қазақстанның инженерлік жоғары мектебінің көш бастауындағы ұлттық университеттің өз дәстүрін одан әрі жалғасыра беру, әлемдегі әйгілі университеттердің дәрежесіне жету. Бұл міндетті де зор жауапкершілікпен іске асырудамыз. Сөйтіп, Еуразия білім кеңістігінде өзінің айрықша тұрпатымен қалыптасқан Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың 90 жылдық мерейтойына сақадай сай отырмыз.

Инженер мамандарды даярлайтын Қазақстанның қара шаңырағы – ҚазҰТЗУ түлектерімен түлейді, түрленеді, асқақтайды, қуаты артып, самғай беретініе сенім мол! Өйткені бұл ордада көкірегі ояу, көзі ашық, жүрегінде оты бар, жанарында жасын бар жастар жүр.