

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

Издается с января 2003 г.

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

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

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

**Адрес редакции:**  
050026, г. Алматы,  
ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,  
тел.: +7 (747) 440-46-35  
+7 (747) 343-15-02  
**minmag.kz**

#### Представители журнала:

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

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

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

**Периодичность 12 номеров в год**

**Тираж 1500 экземпляров**

**ISSN 2227-4766**

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

Подписано в печать **20.05.2021 г.**

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

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



**INTERRIN**

#### Главный редактор

**М.Ж. БИТИМБАЕВ**, [mbitimbaev@mail.ru](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

**Ю.А. БОЧАРОВА**, [Yuliya.Bocharova@interrin.kz](mailto:Yuliya.Bocharova@interrin.kz)

#### Специалист по связям с общественностью

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

#### Помощник редактора

**И.П. КОНОНОВА (ПАШИННИНА)**,  
[Irina.Pashinina@interrin.kz](mailto:Irina.Pashinina@interrin.kz)

#### Редакционная коллегия:

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

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

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

**Ж.Д. Байгулин**, д-р техн. наук, профессор

**А.Б. Бегалинов**, д-р техн. наук, профессор  
**А.А. Бекботаева**, PhD

**А.А. Бектыбаев**, канд. техн. наук

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

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

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

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

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

**А.И. Едильбаев**, д-р техн. наук

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

**В.Г. Загайнов**, канд. техн. наук

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

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

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

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

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

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

**В.С. Музгина**, д-р техн. наук

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

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

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

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

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

**П.Г. Тамбиев**, канд. техн. наук

**Р.Р. Ходжаев**, д-р техн. наук

**Т.А. Чепуштанова**, PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

**3** Колонка главного редактора

**4** Ридерский металлургический комплекс «Казцинк» отмечает 55-летний юбилей <sup>®</sup>

**6** Новые технологии и тренды в автоматизации <sup>®</sup>

### Развитие горнопромышленного комплекса

**9** Смаков Н.Б.  
Горнодобывающая промышленность Республики Казахстан: Павлодарская область

### Геомеханика

**16** Казаков А.Н., Хакбердиев М.Р., Шамсиева Н.М., Абдукодиров А.А.  
Изучение трещиноватости горных пород при оценке устойчивости горных выработок

**22** Булат А.Ф., Круковский А.П., Безручко К.А., Круковская В.В.  
Развитие геомеханических процессов при эксплуатации газовых месторождений

### Горные машины

**29** Povetkin V.V., Bukayeva A.Z., Nurmukhanova A.Z., Tatybayev M.K.  
Gasoline-air burners in the production of hard rock blocks

### Обогащение полезных ископаемых

**36** Корабаев А.С., Телков Ш.А., Амирхан А.А.  
Исследование гравитационной обогатимости забалансовой свинцовой руды месторождения Родниковое

### Металлургия

**42** Рысбеков К.Б., Бахмагамбетова Г.Б.  
Влияние взаимодействия раствора с дисперсными частицами при кучном выщелачивании

**47** Янгитлавова Б.Х., Ли Э.М., Мотовилов И.Ю.  
Отработка режима свинцового цикла флотации полиметаллической руды с помощью метода симплекс-планирования

**54** Требования к оформлению статей

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Дорогие читатели!*

*Уважаемые коллеги!*

Апрель месяц, который для нас всегда ассоциировался с серединой весны, отмеченной бурным пробуждением природы, готовой бескорыстно служить рачительному, доброму и трудолюбивому хозяину, во всех отношениях как в реальной жизни, так и символически является началом нового годового цикла. Было бы более верно, если бы начало этого многообещающего ежегодно события совпало с Днем равенства, т. е. с 21 марта. Конечно, для нас более важен нынешний порядок, поэтому скажем, в первую очередь, слова благодарности и пожелания счастливого пути геологам, чей профессиональный праздник совпадает с началом их «путины». Ждем их с уловом, чтобы будущие зимние будни были наполнены многообещающими расчетами.

Как я повторяю уже на протяжении десятка лет, 12 апреля наша страна отмечает два эпохальных, вошедших в историю всего цивилизованного мира, события. В 1899 году в этот день появился на свет ученый и организатор одновременно и науки, и производства, что особенно ценно, Сатпаев Каныш Имантаевич. Он своим особым, редким дарованием прославил науку Казахстана, создав основу горно-металлургической отрасли не только своими геологическими открытиями, но и убедительно доказав, что предприятия на их базе будут существовать долгие годы. С его именем сегодня мы связываем всю блестящую историю развития и становления промышленности, науки и культуры Казахстана в XX столетии. Несомненно, его научное наследие, его мысли, напутствия еще долго будут путеводной звездой для геологов и горняков. День рождения К.И. Сатпаева страна, помня о его заслугах и неиссякаемом наследии, назвала Днем науки Республики Казахстан, что является своего рода оценкой по достоинству труда ученого и проявления к нему глубокого уважения.

В этот же день 60 лет назад земля Казахстана стала стартовой площадкой в бессмертие для Юрия Алексеевича Гагарина, создав приоритет Советскому Союзу в освоении космоса, добавив к первому искусственному спутнику Земли полет человека.

Казахстан гордится и тем, что материальное обеспечение всего того, что послужило основой могущества СССР во всех отношениях, послужили недра нашего государства, его рабочий класс и инженерно-технический персонал и предприятия горнометаллургического комплекса, построенные в годы советской власти и строящиеся сейчас. Сказанное имеет прямое отношение и к освоению космоса, потому что и металлы для создания ракетно-космической отрасли, и сами ракеты добывались и строились в казахстанских степях.

В апреле волей случая были собраны воедино все признаки, которые создали Казахстану особое место в мировом рейтинге промышленно развитых государств: и богатства недр, и наличие квалифицированного и образованного контингента геологов, горняков, обогатителей, металлургов, строителей, энергетиков, и космодром Байконур, и плеяда ученых и инженеров во главе с Академией наук, созданной Канышем Имантаевичем. И все эти значимые, эпохальные события имеют прямое отношение к апрелю, поэтому с праздничным месяцем!

*Успехов сельхозпроизводителям и геологам, которые в прямом смысле этого слова являются нашими кормильцами!*



## РИДДЕРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «КАЗЦИНКА» ОТМЕЧАЕТ 55-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ

*Первая цинковая чушка была выплавлена 27 марта 1966 года. За 5,5 десятков лет комплекс произвел более 5,5 миллионов тонн цинка, для чего было переработано более 15 миллионов тонн цинксодержащего сырья.*

*По традиции, риддерские металлурги юбилейную выплавку цинка посвятили знаменательной дате, первым металлургам и тем ветеранам, которые заложили основу предприятия и славные традиции Лениногорского цинкового завода, людям, которые продолжают эти традиции, компании «Казцинк» и родному городу!*

История Риддерского металлургического комплекса берет свое начало в 1958 году, когда было открыто Тишинское месторождение. В 1960 году началось строительство Лениногорского цинкового завода. Оно продолжалось шесть лет. В марте 1966 года был выдан первый лениногорский цинк.

В связи с юбилейными торжествами уместно вспомнить, что пять лет назад право провести юбилейную плавку было предоставлено почетному металлургу СССР Борису Ивановичу Студеникину. Именно он отливал первую чушку лениногорского цинка в далеком 1966 году. Тогда это была обычная рабочая смена, а через 50 и 55 лет – праздник! Потому что есть, чем гордиться, есть повод для радости!

В марте 2021 года за юбилейную плавку цинка отвечал плавильщик электролитного цеха Серик Ибраев. На цинковый завод он пришел в 1993 году, и с той поры вот уже 28 лет добросовестно трудится на одном и том же рабочем месте.

– Все это время, – рассказывает **Серик Мейрманович**, – я работал в одном и том же электролитном цехе, никуда не переводился. Ремонтировал индукционные печи, паял аноды, а вообще я – плавильщик, а теперь еще и бригадир плавильщиков.

– Работа у Вас ответственная?

– Да, конечно! Есть такое. Спасибо товарищам. Они не подводят! Я счастлив от того, что работаю в «Казцинке» и горжусь тем, что именно мне доверили почетную миссию – провести юбилейную плавку цинка!

55-летняя история РМК – это история производственных и социальных достижений.

Цинк, выпускаемый на РМК, ввиду уникальной чистоты и стабильности химического состава, закупался для особо ответственного литья. Например, пятикомпонентный сплав для защиты корпусов морских судов не мог производить ни один завод в СССР. Сплав ЦАМ, по отзывам литейщиков концерна Renault, был лучшим в Европе. Многочисленные звания и награды получало предприятие на международных конкурсах и внутри компании «Казцинк».

– Приходилось бывать в зарубежных командировках на цинковых заводах, и я скажу вам, что наши



плавильщики, катодчики, анодчики были на голову выше своих коллег из Германии или Великобритании, – считает **Почетный металлург СССР, кавалер ордена «Күрмет» Михаил Ермолаев**. – Это я могу вам со всей ответственностью заявить. Ученые ВНИИцветмета приезжали к нам за консультациями, интересовались нашим опытом. В Орджоникидзе был головной институт по сплавам на цинковой основе. Однажды приехали оттуда гости с заданием изготовить сплав для атомной подводной лодки. У них что-то не получалось. А мы выполнили задачу часа за четыре. Потому что знали теорию приготовления сплавов. И у нас было несколько иное оборудование, а главное – уникальные специалисты, которыми, безусловно, можно гордиться.

– Как объяснить этот феномен?

– Наши спецы отличались тем, что умели решать задачи самостоятельно. Хватало ума и таланта на то, чтобы внести какое-то изменение в технологию и получить заданный результат. Мы не ждали рекомендаций – академическая наука обычно не торопится. А у нас был план: каждый день требовалось выдавать цинк. Поэтому все приходилось делать быстро и самостоятельно. Не с первого раза, может быть, получалось, но мы не отчаивались. Пользовались новинками технической литературы и добивались успеха. Цинк выдавали с чистотой 99,995 процента.

Примесей было ничтожно мало. Поэтому наш цинк в мире покупали без предварительной проверки, в том числе американцы, британцы, немцы. Такой чистый цинк обычно получают специальными методами, например, с помощью озонной плавки, а мы – обычным электролизным методом, да еще и тысячами тонн. Это наивысшее достижение в нашей практике!

Бесспорно, РМК может гордиться качеством продукции, поскольку риддерский цинк берут без дополнительного тестирования самые лучшие ответственные производители авиационной и космической техники. И это заслуга наших людей, являющихся профессионалами экстра-класса.

Отвечая на вопрос, в каком направлении будет развиваться производство, директор РМК Андрей Зайцев поясняет, что классическая технология производства цинка, утилизации сернистых газов пока останется прежней.

– Но впереди у нас, – сказал далее Андрей Владимирович, – большие задачи по внедрению «зеленой» технологии, имеется в виду строительство завода гидрометаллургической переработки низкосортных концентратов. Этот проект позволит уйти от пиро-металлургического процесса, снизить техногенную нагрузку на воздушный бассейн и, тем самым, улучшить экологическую ситуацию в Риддере. Работа по проекту идет своим ходом, уже в этом году будет определена сумма инвестиций.

**– Каковы, на Ваш взгляд, отличительные черты коллектива РМК?**

– Прежде всего, это дисциплинированность. Наш неформальный девиз: не откладывай на завтра то, что можно сделать сегодня, потому что завтра это может быть уже неактуально. Главное, правильно спланировать работу, что является залогом половины успеха.

Я горд тем, что работаю на цинковом заводе. Мы достигли не только максимальной производительности по выпуску товарной продукции, но и максимального качества. Наша задача – не останавливаться на достигнутом, решительно идти по пути снижения затрат и повышения производительности труда, чтобы в конечном счете добиться такой модернизации производства, которая позволит считать РМК «зеленым комплексом». Мы выдержали серьезные испытания из-за пандемии, но благодаря качественным организационным мероприятиям смогли максимально снизить риски и не допустили остановки комплекса.

**– Что можно сказать о социальной ответственности предприятия? Какие самые важные проекты были реализованы в последнее время?**

– В прошлом году при поддержке компании проведен большой ремонт в амбулаторном центре Риддера. Было инвестировано более миллиона долларов.

Мы сделали реконструкцию здания, наладили отопление, применили современные материалы. Слова огромной благодарности нужно сказать руководству компании за новый цифровой рентген-аппарат стоимостью 120 миллионов тенге, благодаря которому жители Риддера могут проходить диагностику у себя в городе, не выезжая для этого в областной центр. Это очень важно!

**– По Вашему мнению, в чем секрет высоких достижений РМК?**

– Главный секрет и ценность – коллектив. Рядом со мной работают неравнодушные люди, которые болеют душой за все, что происходит на комплексе. Я горжусь нашей командой, которой по плечу решать самые сложные задачи. Хочу пожелать, чтобы через пять, десять и 15 лет наши достижения были еще более значимыми. Желаю всем здоровья, оно сегодня – это тоже залог успеха!

Искреннюю благодарность хочу выразить нашему старшему поколению – **Михаилу Ивановичу Ермолаеву, Равилю Касимовичу Хисамову**, которые душой болеют за родное производство. Мы по-прежнему на связи с ними, и если возникают какие-то вопросы, то обращаемся за советом, а они охотно откликаются, помогают словом и делом. Недавно мы проводили на пенсию заслуженного энергетика **Валерия Дмитриевича Бледнова**, он подготовил себе хорошую смену. Тон в работе сегодня задают молодые специалисты: начальник ОТК **Иван Кузнецов**, начальник объединенного цеха №2 **Иван Жиляков**, начальник гидрометаллургического цеха **Константин Донцов**, начальник вельц-цеха **Сергей Фарафонов**, начальник объединенного цеха №1 **Дмитрий Серохвостов**. Я горжусь ими, радуюсь, что у нас подобралась такая классная команда! Никого не нужно подталкивать, все инициативные и ответственные, прикладывают максимум усилий, чтобы выполнить любую задачу на отлично, внимание каждого сфокусировано на улучшении производства и его безопасности.

**– С каким настроением встречаете юбилей?**

– Немного жаль, что так быстро летит время. 1 марта исполнилось десять лет с тех пор, как я вступил в должность директора комплекса. Тогда заводу было 45 лет, потом мы отметили полувековой юбилей, теперь празднуем 55 лет. Время летит. Но, вопреки ему, завод молодеет! На смену опытным сотрудникам приходят молодые и тоже талантливые ребята. И мы видим, как меняется их сознание в части безопасности и культуры производства.

В компании многое делается, чтобы модернизировать производство, обновить оборудование, здания и сооружения. Поэтому сегодня так приятно идти по родному заводу. Устраиваясь к нам на работу, люди говорят о том, что хотят быть уверенными в завтрашнем дне. Компания «Казцинк» – как раз воплощение этой надежды!

Материал подготовил Андрей Кратенко



## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТРЕНДЫ В АВТОМАТИЗАЦИИ

*Автоматизация горной отрасли набирает обороты: на сегодняшний день более 60 горнодобывающих предприятий по всему миру эксплуатируют в совокупности более 500 единиц автономной техники Sandvik. Дмитрий Минаев, директор департамента по автоматизации по СНГ Sandvik Mining and Rock Solutions, поделился экспертным видением перспектив повсеместного внедрения автоматизации и рассказал о том, насколько безопасными могут стать автономные рудники будущего.*

– Насколько важную роль, по вашему мнению, играет автоматизация в горной отрасли?

– Я, как горный инженер по образованию, верю, что будущее за автоматизацией. Все процессы, происходящие в мире, говорят об этом. Автоматизация уже вошла в нашу жизнь. Горная отрасль также подхватывает этот общемировой тренд, пусть и немного медленней, чем другие отрасли.

– Какие задачи способна решать автоматизация?

– Автономное оборудование компании Sandvik позволяет выполнять все задачи, которые ежедневно ставятся перед горными предприятиями. Это и проведение горно-капитальных и подготовительных выработок, и выпуск руды из камеры самоходными ПДМ, и транспортировка руды по концентрационным горизонтам. В настоящее время в мире около 60 предприятий эксплуатируют автономное оборудование, а общее количество автоматизированных машин Sandvik в мире недавно преодолело отметку в 500 единиц.

– Каким образом управляется подобная техника?

– Наше оборудование может работать как автономно, то есть без участия оператора, так и управляться дистанционно с поверхности рудника. При автономном режиме работы автоматизированное оборудование работает по предварительно заданной программе, как робот, оператор только контролирует его работу. При дистанционном управлении оператор может выполнять все те же операции, что и непосредственно в кабине. При этом он может включить ассистента, который поможет избежать столкновения с бортами выработки, а оператор контролирует скорость движения, может поднимать/опускать кузов или ковш оборудования.

– Вероятно, это позволяет значительно снизить риск получения травм работниками горных предприятий?

– Конечно. Профессия подземного горного рабочего является наиболее опасной в мире. Работа в ограниченном





пространстве, в условиях высокой запыленности, обводненности и недостатка кислорода сопряжена с высокими рисками для здоровья. В интернете можно найти много фотографий ПДМ, попавших под завал в камере, упавших в рудоспуск и прочих. Применение автономного оборудования и вывод персонала из подземных условий на поверхность, в офис повышает безопасность труда. Недавно общая наработка автономной техники Sandvik в мире с нулевым показателем травматизма перешагнула отметку в 3 млн часов. Вдумайтесь, 3 млн часов оборудования не причиняло никакого вреда людям.

Однако для всех предприятий существует и экономический эффект от внедрения автономной техники, связанный с ростом производительности и сокращением затрат. В настоящее время одно из предприятий Канады держит рекорд по сроку окупаемости системы AutoMine® – 54 дня, достигнутый, в первую очередь, за счет роста производительности.

**– Все-таки автономная техника управляется компьютером. Какие меры безопасности предпринимаются для работы такого оборудования?**

– Ключевым принципом нашей компании в обеспечении безопасности является изоляция зоны работы автономной техники. Изоляция осуществляется установкой барьеров, которые останавливают работу системы при пересечении барьера персоналом или другим оборудованием. Нередко это накладывает большие ограничения на применение автономной техники. Зачастую приходится пересматривать и оптимизировать действующую транспортную систему, проходить новые выработки и изолировать зону работы автономного оборудования. Наиболее оптимальным является внедрение систем автоматизации еще на стадии разработки проекта рудника. Это позволяет внедрить и максимально использовать все цифровые системы. Следующий шаг в развитии технологий автоматизации сделает возможным совместную работу людей и автономной техники. Никаких ворот и барьеров. Это расширит область применения

автоматизированного оборудования и сделает его работу еще более эффективной, чем сейчас.

– Есть ли разница между дистанционным управлением и автоматизацией? Ведь, в первом случае, безопасность персонала также будет на высоком уровне.

– Для автоматизированной техники вначале необходимо создать маршрут, а затем проверить его, чтобы убедиться, что оборудование работает так, как необходимо. На это уходит время, и если сроки отработки участка ограничены, то потери времени на построение маршрутов движения не компенсируются растущей производительностью. В этом случае оптимально будет использовать дистанционно управляемую технику, которая традиционно применяется в быстро меняющихся условиях рудника. Оптимальная продолжительность работы дистанционной техники – дни или недели. В этом случае систему дистанционного управления можно настроить и запустить в течение нескольких смен.

**– Можно ли удачно совместить два метода управления?**

– В ряде случаев это будет эффективной мерой. Например, при выпуске руды из камеры: ПДМ перемещается в роботизированном режиме до заезда в камеру, затем оператор переводит ПДМ в дистанционный режим, заезжает в камеру и производит операции загрузки ковша, выезжает из камеры и управляет машиной на точку разгрузки в автоматизированном режиме. Такой режим работы неизбежен, так как точка погрузки руды в камере постоянно изменяется и оператору необходимо вмешиваться и производить загрузку ковша дистанционно.

**– Как вы считаете, процесс автоматизации горной отрасли набирает обороты? Насколько активно предприятия внедряют передовые технологии?**

– Безусловно. Последние три года наш завод в Финляндии, выпускающий системы AutoMine®, полностью загружен заказами: запросы приходят со всех уголков планеты. Горные предприятия СНГ активно интересуются вопросами автоматизации. За этим приятно наблюдать, и я рад, что компания Sandvik может поставлять системы, соответствующие запросам наших горных компаний.





УМНАЯ  
ИНДУСТРИЯ '21  
**SMART**



## Умная Индустрия 2021



Сайт конференции:

[smartindustry.live](https://smartindustry.live)

Межотраслевая конференция и выставка по промышленной цифровой трансформации и автоматизации «Smart Industry 2021»

**15-16 июня 2021 – гибридный формат**  
г. Москва, Президент-Отель

+7 495 241 1405  
Россия

+44 208 089 2886  
Великобритания

Код МРНТИ 52.01.11

Н.Б. Смаков

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

## ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН: ПАВЛОДАРСКАЯ ОБЛАСТЬ

**Аннотация.** Горнодобывающая промышленность является основой для развивающейся отечественной экономики. Однако для успешного функционирования всего хозяйства необходима развитая обрабатывающая промышленность. Все эти компоненты должны функционировать совместно и составлять единый экономический организм. Казахстан – территориально крупная страна, которая отличается многообразием полезных ископаемых, где каждый регион специализируется на определенных отраслях промышленности. В статье выполнен обзор горнодобывающей промышленности Павлодарской области. Исследованы и изучены положительные и отрицательные стороны функционирования крупных горнодобывающих предприятий и их влияния на окружающую среду. Для наглядности приведены таблицы и рисунки, что позволит более объективно оценить сложившуюся картину.

**Ключевые слова:** горнодобывающая промышленность, полезные ископаемые Казахстана, Павлодарская область, топливно-энергетический комплекс, горно-металлургический комплекс, геология и минералогия, каменный уголь, медная руда, промышленная экология, охрана окружающей среды.

### Қазақстан Республикасының тау-кен өнеркәсібі: Павлодар облысы

**Аңдатпа.** Тау-кен өнеркәсібі – өсіп келе жатқан ішкі экономиканың негізі. Алайда, бүкіл экономиканың ойдағыдай жұмыс істеуі үшін дамыған өңдеу өнеркәсібі қажет. Бұл компоненттердің барлығы бірге жұмыс істеп, біртұтас экономикалық организм құрауы керек. Қазақстан – әр аймақ белгілі бір салаларға маманданған, әр түрлі пайдалы қазбалары бар географиялық үлкен мемлекет. Мақалада Павлодар облысының тау-кен өнеркәсібіне шолу жасалған. Ірі тау-кен кәсіпорындарының жұмысының жағымды және жағымсыз жақтары және олардың қоршаған ортаға әсері зерттеліп, зерттелді. Айқындық үшін кестелер мен суреттер келтірілген, олар қазіргі суретті объективті бағалауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** тау-кен өнеркәсібі, Қазақстанның пайдалы қазбалары, Павлодар облысы, отын-энергетикалық кешені, тау-кен металлургия кешені, геология және минералогия, тас көмір, мыс кентасы, өндірістік экология, қоршаған ортаны қорғау.

### Mining industry of the Republic of Kazakhstan: Pavlodar region

**Abstract.** The mining industry is the backbone of a growing domestic economy. However, for the successful functioning of the entire economy, a developed manufacturing industry is needed. All these components must function together and form a single economic organism. Kazakhstan is a geographically large country with a variety of minerals, where each region specializes in certain industries. The article provides an overview of the mining industry of the Pavlodar region. The positive and negative aspects of the functioning of large mining enterprises and their impact on the environment have been investigated and studied. For clarity, tables and figures are given, which will allow a more objective assessment of the current picture.

**Key words:** mining industry, minerals of Kazakhstan, Pavlodar region, fuel and energy complex, mining and metallurgical complex, geology and mineralogy, coal, copper ore, industrial ecology, environmental protection.

Казахстан является государством, экономика которого полностью опирается на полезные ископаемые, их добычу и переработку. Данная тенденция наблюдается длительное время, и предпосылок к изменению этой системы практически нет. Основную часть экспорта нашей республики составляют различные виды природных ресурсов, соответственно, львиная доля отечественного ВВП приходится на продажу и реализацию на внешних рынках национальных богатств. Обрабатывающая промышленность серьезно отстает от добывающей, что приводит к экономическому дисбалансу в структуре хозяйства. За время своего существования Казахстан перешел от традиционного аграрного производства к индустриально-аграрному. Наиболее развиты: топливно-энергетический (ТЭК) и горно-металлургический комплексы, чему способствует большое количество ресурсов и занятию в этих отраслях населения. Каждый регион страны обладает отличительными особенностями, в том числе наличием тех или иных полезных ископаемых, что, в конечном итоге, влияет на географию труда и специализацию.

Казахстан – один из крупнейших экономических игроков на территории постсоветского пространства, в частности, на его долю приходится порядка 60% от всего производимого ВВП стран Центральной Азии. Республика располагает значительными запасами ресурсов. Из 118 элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева

выявлены 99, разведаны 70, а используются порядка 60 элементов. В СНГ на долю республики приходится запасов: хромитов – 94%, баритов – 82%, фосфоритов – 65%, вольфрама – 53%, свинца – 38%, молибдена – 29%, меди – 28%, бокситов – 22%, асбеста – 20%, марганца – 13%, угля – 12%. Здесь созданы мощные центры энергетики, топливной, металлургической, химической и машиностроительной промышленности. Казахстанские предприятия являются крупными производителями нефтепродуктов, каменного и бурого угля, урана, черных и цветных металлов<sup>1</sup>. В 2018 г. на территории страны насчитывалось 493 месторождения, где добывается более 1200 разновидностей различного минерального сырья<sup>2</sup>. В табл. 1 показаны основные минеральные ресурсы, по запасам и добыче которых Казахстан занимает лидирующее положение в мире.

Горнодобывающая промышленность Казахстана – одна из наиболее конкурентоспособных отраслей государства, вышедшая на траекторию стабильного роста уже в 21 столетии, во многом благодаря привлечению иностранных инвестиций в развитие данного сектора экономики. Следует отметить значительное присутствие американских и европейских корпораций на рынке, в особенности в топливно-энергетическом и горно-металлургическом секторах экономики. Среди стран СНГ по объемам добычи полезных ископаемых Казахстан уверенно занимает второе место, уступая только Российской Федерации.

<sup>1</sup>Дүйсебаева К.Д., Акашева А.С. Экономическая и социальная география Казахстана: учебно-методическое пособие. – Алматы: Қазақ университеті, 2014. – 135 с.

<sup>2</sup><https://moneymakerfactory.ru/biznes-idei/ekonomika-kazahstana/>

Таблица 1

## Минеральные ресурсы Казахстана

Кесте 1

## Қазақстанның минералды-шикізат ресурстары

Table 1

## Mineral resources of Kazakhstan

Тип минеральных ресурсов	Балансовые резервы, т	Объемы добычи, т/г.	Место в мире по объемам запасов (резервов)	Место в мире по объемам добычи
Нефть	3 930 000 000	79 300 000	12	17
Каменный уголь	150 000 000 000	108 700 000	8	10
Уран	1 600 000	17 800	2	1
Железная руда	18 600 000 000	22 000 000	6	12
Марганцевая руда	635 200 000	2 361 000	4	6
Хромовая руда	382 700 000	3 600 000	2	3
Бокситы	365 400 000	5 200 000	12	10
Свинец	17 200 000	120 000	5	11
Цинк	39 800 000	377 000	5	10
Медь	39 300 000	440 000	12	11
Титан	24 100 000	3 700	10	16
Вольфрам	2 100 000	2 600	1	4
Золото	2 233	47,5	15	17
Серебро	53 204	77,39	4	10

Кроме того, территориальная близость этих государств обеспечивает их тесное хозяйственное сотрудничество, в том числе в области переработки добываемого сырья (ресурсов), которое подкрепляется интеграцией в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС). По состоянию на 2017 г. горнодобывающая промышленность Казахстана оценивалась почти в 30 млрд долл. США. По общему объему добычи полезных ископаемых страна занимает 13 место среди 70 горнодобывающих стран<sup>3</sup>.

К добывающей отрасли относятся предприятия по добыче горно-химического сырья, руд черных и цветных металлов и нерудного сырья для металлургии, неметаллических руд, нефти, газа, угля, урана, торфа, сланцев, соли, нерудных строительных материалов, легких природных заполнителей и известняка.

Индустриально-аграрная экономика Казахстана была построена во второй половине прошлого столетия в интересах сырьевого и продовольственного обеспечения СССР. Многие предприятия были эвакуированы в период Великой отечественной войны (1941-1945 гг.) с западной территории СССР и вновь образованы на территории Казахстана. В результате незавершенной первоначальной индустриализации в структуре казахстанской экономики преобладали малотехнологичные отрасли и производства, слабо связанные между собой и ориентированные на завершение производственного цикла в соседних республиках. Основной проблемой экономической политики Казахстана остается по сей день преодоление сырьевой направленности экономики. Превалирование в структуре экономики добывающих отраслей обуславливает сырьевую специализацию казахстанского экспорта, около 80% которого

составляют сырьевые материалы. Такая структура производства значительно усиливает экономическую зависимость республики от внешних факторов, особенно в связи с наблюдающейся в последние годы нестабильностью конъюнктуры на товарных рынках. Кроме того, специализация Казахстана на поставках товаров энергетической сырьевой группы на мировой рынок не только ставит ее в сильную зависимость от колебаний мировых цен, но и, учитывая, что разработка многих видов сырья обходится все дороже, может привести в будущем к трудностям расширения сырьевого экспорта. Экономика республики напрямую зависит от мировых цен на нефть, и во многом бюджет страны закладывается исходя из них. Тот объем материалов, которые готовы к переработке, значительно превосходит производственные мощности обрабатывающих предприятий. В качестве примера можно привести недостаток нефтеперерабатывающих и медеплавильных заводов, количество которых явно не соответствует объемам, с которыми Казахстан выходит на внутренний и внешний рынок. Проще говоря, страна продает полезные ископаемые другим государствам, и затем покупает у них конечную продукцию, сделанную из казахстанского сырья. Чаще всего это товары нефтехимического и металлургического происхождения, не говоря уже про изделия машиностроительного комплекса и других наукоемких производств. Очевидно, что для избежания быстрой трансформации Казахстана в типичную страну третьего мира с сырьевой экономикой необходима срочная переориентация экономической политики и стратегии экономического движения республики в сторону развития обрабатывающей промышленности<sup>1</sup>.

<sup>3</sup>[https://forbes.kz/process/economy/samyie\\_byistrorazvivayuschiesya\\_otrasli\\_kazahstanskoy\\_ekonomiki](https://forbes.kz/process/economy/samyie_byistrorazvivayuschiesya_otrasli_kazahstanskoy_ekonomiki)

# Развитие горнопромышленного комплекса

На рис. 1 изображены полезные ископаемые Казахстана, по данному изображению можно проследить, какие минеральные ресурсы преобладают и в каких частях Казахстана они находятся.

Республика Казахстан – одна из самых крупных стран мира и, соответственно, имеет свои определенные физико-географические и экономико-географические особенности. Территория страны отличается большим многообразием природных ресурсов, что находит отражение в доминирующих отраслях хозяйства, таких как горнодобывающая промышленность. Одним из лидеров в данной сфере является Павлодарская область, которая представляет значительный интерес и является объектом изучения данной статьи.

Павлодарская область – промышленный и экономически развитый регион северо-восточной части Республики Казахстан. Область обладает достаточно выгодным географическим положением, ввиду того, что регион расположен рядом с самым большим рынком СНГ – Российской Федерацией. Площадь области – 124 тыс. км<sup>2</sup> (4,6% от общей площади страны). Павлодарская область граничит на севере с Омской областью, на северо-востоке – с Новосибирской, на востоке – с Алтайским краем Российской Федерации, на юге – с Восточно-Казахстанской и Карагандинской областями, на западе – с Акмолинской и Северо-Казахстанской областями. В области проживает 754,8 тыс. человек (по данным на 1 января 2018 г.), плотность населения – 6 человек на 1 км<sup>2</sup> (4,3% от общей численности населения)<sup>4</sup>.

На рис. 2 изображено административно-территориальное устройство Казахстана, на котором отчетливо видно Павлодарскую область – одну из 14 областей, которая входит в состав Северного экономического района.

Павлодарская область занимает одно из ведущих мест в минерально-сырьевом комплексе Казахстана. Общая стоимость балансовых запасов твердых полезных ископаемых оценивается приблизительно в 460 млрд долл. США. Это преимущественно энергетические ресурсы (каменный и бурый уголь) и различные металлы (медь, серебро, золото, молибден, никель), а также строительные материалы и многое другое. Часть месторождений давно и успешно разрабатывается, на остальных ведутся дополнительные геологоразведочные работы, уточняются реальные объемы полезных ископаемых и условия их добычи. Здесь сосредоточено: 35,7% балансовых запасов угля (I место); 16% никеля (II место); 5,2% золота (IV место); 3,7% меди (V место); 2,3% молибдена; 1,7% барита; 0,9% цинка; 0,3% свинца; 30% флюсовых известняков и т. д. Всего имеется 139 различных месторождений с утвержденными запасами полезных ископаемых, из них 35 месторождений металлических полезных ископаемых и угля, 104 – общераспространенных полезных ископаемых (кирпичное и керамическое сырье, строительный камень, песок, известняк, формовочные материалы, поваренная соль, декоративно-облицовочный камень и другие). Все это безусловно оказывает влияние и стимулирует развитие, прежде всего, горнодобывающей



**Рис. 1. Карта полезных ископаемых Казахстана.  
Сурет 1. Қазақстанның минералды-шикізат картасы.  
Figure 1. Mineral resources map of Kazakhstan.**

<sup>4</sup>[https://www.pavlodar.gov.kz/page.php?page\\_id=2679&lang=1](https://www.pavlodar.gov.kz/page.php?page_id=2679&lang=1)

**Таблица 2**  
**Структура хозяйства Павлодарской области**  
**Кесте 2**  
**Павлодар облысы экономикасының құрылымы**  
**Table 2**  
**The structure of the economy of Pavlodar region**

Наименование показателя	2015 г.	2016 г.	2017 г.
ВРП Павлодарской области, всего, в том числе:	100	100	100
▪ сельское хозяйство	4,6	5	4,7
▪ промышленность	32	37,9	40,8
▪ строительство	7,9	6,7	6,2
▪ торговля	13,1	10,3	9,2
▪ транспорт	16,8	14,7	13,9
▪ связь	1,0	0,9	0,8
▪ прочие услуги	24,6	24,5	24,4

промышленности и делает область одной из самых привлекательных и перспективных в данном аспекте.

Павлодарская область характеризуется развивающейся и диверсифицированной структурой экономики. Здесь сосредоточено 4,6% занятого населения, 4,4% валового продукта и 7,8% промышленного выпуска страны. Область занимает значительное место в республиканском объеме производства угля (59,5%), ферросплавов (73,1%), алюминия необработанного (99,8%), оксида алюминия (99,8%), медного концентрата (25%) и электрической энергии (38%). Область относится к числу наиболее энерговооруженных территорий

Казахстана. Электростанции обеспечивают электроэнергией потребности хозяйственного комплекса и населения области, часть электроэнергии идет в другие регионы республики. Собственное региональное потребление составляет порядка 45% объема производства<sup>5</sup>.

Павлодарская область, являясь одним из наиболее развитых индустриальных и культурных регионов Казахстана, вносит ощутимый вклад в экономику страны, занимая важное место во внутриреспубликанском разделении труда. Наибольший удельный вес в структуре валового регионального продукта (ВРП) Павлодарской области имеет промышленность. По итогам 2017 г. ее доля составила 40,8%. В целом структура промышленности характеризуется преобладанием сырьевых отраслей, в частности, предприятий, производящих промежуточную продукцию (уголь, глинозем, медный концентрат, ферросплавы). Их доля в среднем составляет 40%. Высока доля электроэнергетики, она составляет 22,6% и занимает промежуточное положение между сырьем и потребительским товаром. В табл. 2 отображена структура хозяйства Павлодарской области и ее динамика в течении нескольких лет, где особняком стоит промышленность.

Горнодобывающая промышленность представляет собой одну из основных отраслей экономики Павлодарской области. Отличительной особенностью отрасли является разнообразие добываемых полезных ископаемых и, как следствие, большое количество предприятий, работающих как в сфере разведки и эксплуатации месторождений, так и в сфере материально-технического обеспечения процессов недропользования.



**Рисунок 2. Административно-территориальное устройство Казахстана.**

**Сурет 2. Әкімшілік-аумақтық құрылым.**

**Figure 2. Administrative territorial structure.**

<sup>5</sup><https://pavlodar.invest.gov.kz/ru/about/info/> <https://pavlodar.invest.gov.kz/ru/about/info/>

С экономической точки зрения, важной особенностью ископаемых ресурсов Павлодарской области является то, что они часто залегают близко к поверхности земли и поэтому разрабатываются дешевым открытым способом (в карьерах). Кроме того, в ряде случаев они удобно расположены для комплексного использования. Например, уголь является топливом для тепловых электрических станций, что вкуче образует мощнейший топливно-энергетический комплекс<sup>6</sup>.

Специализация горнодобывающей промышленности Павлодарской области – каменный уголь и медная руда. Эти месторождения являются центром производства не только Северного экономического района, в частности, но и республики в целом. Здесь сконцентрированы различные технологические процессы и большое количество занятого населения. Данные отрасли имеют свои отличительные географические и экономические особенности, которые необходимо рассмотреть более подробно.

Экибастузский каменноугольный бассейн открыт в 1876 г., планомерное изучение началось с 1940 г., а промышленное освоение – с 1948 г. Месторождение находится в непосредственной близости от города Экибастуз в юго-восточном направлении. Экибастузский бассейн со значительными запасами каменного угля, которые составляют 12 млрд тонн, является одним из самых крупных районов добычи угля открытым способом на территории постсоветского пространства. Уголь залегают здесь тремя сближенными пластами мощностью от 18 м до 159 м каждый. Вместе они практически могут рассматриваться как одна угольная толща нормальной мощности от 110 м до 200 м при максимальной глубине ее залегания до 550 м в центре мульды. В структурном отношении бассейн представляет собой мульдообразную складку, вытянутую с северо-запада на юго-восток. Площадь угленосной части мульды – 163 км<sup>2</sup>. Мощность покровных отложений колеблется в пределах 6-15 м. По плотности угленакопления (74 млн т/м<sup>2</sup>) Экибастузский бассейн занимает первое место в мире. Средневзвешенная зольность товарного угля отдельных пластов при валовой выемке колеблется от 36% (первый и второй пласты) до 48% (третий пласт). Высокая зольность добываемых углей объясняется частым переслаиванием угольных пачек породными прослойками различной мощности: от сантиметра до нескольких метров, на которые приходится 16% общей мощности пластов. Экибастузские угли относятся к слабоспекающимся с удельной теплотой сгорания рабочего топлива 16726-19280 кДж/кг или 3995-4605 ккал/кг и используются для сжигания на мощных тепловых электростанциях. Стабильная добыча угля здесь (суммарная проектная мощность всех угольных разрезов составляет порядка 105 млн т в год) оказывает существенное влияние на комплексное развитие всего региона и смежных с ним экономических зон. С учетом выявленных запасов при текущих объемах добычи Экибастузского угля хватит

примерно на 50 лет. По масштабам и значимости Экибастузский ТЭК является крупнейшим в Казахстане и является неотъемлемой частью единой энергосистемы страны. Особенно выделяются Экибастузские ГРЭС-1 (мощность 3500 МВт) и ГРЭС-2 (1000 МВт), а также Аксуская ГРЭС (2500 МВт), которые образуют мощный энергетический базис страны<sup>7</sup>.

Разрез «Богатырь» проектной мощностью 50 млн т угля в год строился девятью очередями с 1965 г. по 1979 г. В 1985 г. была достигнута максимальная годовая производительность – 56,8 млн т. Разрез такой большой единичной мощности был построен впервые в мире и по этому показателю в 1985 г. был занесен в книгу рекордов Гиннеса. С 1999 г. разрез «Северный» проектной мощностью 20 млн т угля находится под юрисдикцией ТОО «Богатырь Комир». С 2008 г. по 50% акций компании принадлежат АО «Самрук-Энерго» и ОК «РУСАЛ». Сегодня на долю разреза приходится 70% всего добываемого угля в Экибастузском угольном бассейне и 40% общего объема добычи угля в Республике Казахстан. В настоящее время производственная мощность предприятия составляет 42 млн т, в том числе по разрезу «Богатырь» – 32 млн т, по разрезу «Северный» – 10 млн т. В числе основных потребителей не только казахстанские электростанции, но и российские<sup>8</sup>.

Разрез «Восточный» был сдан в эксплуатацию в 1985 г., за все время его деятельности добыто более 500 млн т угля. Проектная мощность разреза, определенная институтом «Карагандагипрошахт», составляет 30 млн т угля в год. С 1996 г. предприятие принадлежит АО «ЕЭК» в составе международной компании Eurasian Resources Group (ERG). Разрез «Восточный» – уникальное угледобывающее предприятие. Здесь впервые в мировой практике при наклонном залегании угольных пластов с ограниченной горизонтальной мощностью спроектирована и внедрена поточная технология добычи угля с конвейерным транспортом на поверхностный технологический комплекс. Наряду с добычей угля производится и его переработка перед отправкой потребителям (усреднение по качеству). Применение технологии по усреднению угля позволяет оперативно реагировать на изменение качественных показателей в забое, обеспечивать одинаковую характеристику угля и, в конечном итоге, отгружать потребителю продукцию, имеющую стабильное качество. Ежегодно в среднем добывается порядка 20 млн т угля, который реализуется на электростанции Казахстана и России<sup>9</sup>.

Бозшакольское медно-порфиговое месторождение находится в 85 км западнее города Экибастуз. Оно было разведано в 1930-1938 гг. прошлого века и законсервировано ввиду незначительного содержания меди в руде. На тот момент добыча медных руд и производство медного концентрата не были целесообразными, и проект отложили до лучших времен. В данный момент месторождение разрабатывается компанией

<sup>6</sup>[https://kase.kz/files/presentations/ru/KASE\\_mining\\_2019.PDF](https://kase.kz/files/presentations/ru/KASE_mining_2019.PDF)

<sup>7</sup>Джаксыбаев С.И., Муравьева И.Я. Большой уголь Экибастуза. – М.: Недра, 1990. – 84 с.

<sup>8</sup><http://www.bogatyr.kz/>

<sup>9</sup><http://www.erg.kz/>

KAZ Minerals PLC и является крупнейшим горнорудным проектом на постсоветском пространстве как по объему добычи, так и по масштабам. Минеральные ресурсы месторождения оцениваются в размере 1,17 млрд т руды при среднем содержании меди 0,36%. Месторождение представляет собой рудник открытого типа, состоящий из двух карьеров, и содержит ценную попутную продукцию в виде золота, серебра и молибдена. Горно-обогатительный комбинат находится вблизи энергетической, транспортной и другой, необходимой для производства, инфраструктуры. Рудник поддерживается обогатительной фабрикой и заводом по промывке руды от глины (каолиновый завод). Срок эксплуатации рудника и обогатительной фабрики на месторождении Бозшаколь составляет свыше 40 лет. Ожидаемый объем производства на месторождении составит 100 тыс. т меди в катодном эквиваленте в течение первых 10 лет после запуска предприятия. Производительность перерабатывающих предприятий на следующем уровне: обогатительная фабрика – 25 млн т руды в год, завод по промывке руды от глины – 5 млн т руды в год. Строительство Бозшакольского горно-обогатительного комбината начато в 2010 г. и завершено в 2015 г. Отгрузка первого товарного концентрата произошла в 2017 г. Медный концентрат отправляется на медеплавильные заводы Казахстана, России и Китая<sup>10</sup>.

Наличие крупных горнодобывающих предприятий является следствием значительной ресурсно-сырьевой базы, что во многом определяет экономический потенциал региона. Присутствие подобного рода производств благоприятно сказывается на развитии хозяйства и промышленных комплексов. Параллельно с этим развиваются предприятия обрабатывающей промышленности и сопутствующая инфраструктура в целом. Имеется ряд положительных моментов для населения, среди которых можно выделить: занятость, профессиональный рост и в некоторой степени социальная защита. Но, помимо этого, есть отрицательные моменты, которые заслуживают отдельного изучения.

Наиболее массивный вред окружающей природной среде наносят промышленные предприятия, энергетика и автомобильный транспорт, которые являются неотъемлемыми компонентами урбанизированных территорий. Интенсивное развитие хозяйственной деятельности людей, деградация естественных экосистем, аварии и катастрофы на промышленных объектах требуют нового подхода к организации и функционированию предприятий и экономической системы в целом. Одной из главных задач промышленной экологии является нахождение путей для рационального использования природных ресурсов, предотвращения их истощения, деградации и загрязнения окружающей среды, а в конечном итоге – совмещение техногенного и биогеохимического круговорота веществ. Методологической основой промышленной экологии является системный подход с учетом всего разнообразия

экономических, биологических, социальных, технологических и других связей, их многообразия и соподчинения.

Энергетика – основной движущий фактор развития всех отраслей промышленности, транспорта, коммунального и сельского хозяйства, база повышения производительности труда и благосостояния населения. Доля участия энергетических предприятий в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания органических видов топлива, содержащих вредные примеси, а также отходами низкой потенциальной теплоты весьма значительна. Особенностью природопользования в области добывающей промышленности является то, что соответствующие предприятия создаются непосредственно на самом месторождении, их производственная мощность и срок службы зависят от размера (объема) запасов полезного ископаемого. Добывающей отрасли присущи масштабность и высокая специализация производства, в силу чего всегда присутствует тенденция укрупнения добывающих компаний. Добывающее производство является крупным потребителем материальных ресурсов, прежде всего, природных и сопровождается масштабным воздействием на природную среду. В зоне действия добывающих предприятий изымаются из сельскохозяйственного оборота земли, нарушаются целостность земных недр и водный режим, загрязняются земная поверхность, водные источники и воздушный бассейн, в результате чего формируются техногенные ландшафты и территории, во многом не отвечающие условиям нормальной жизнедеятельности человека<sup>11</sup>.

В настоящий момент проблема утилизации техногенных отходов горнодобывающей и обрабатывающей промышленности и разработка извлекаемых запасов являются весьма актуальными задачами для Казахстана. К сожалению, уровень утилизации отходов все еще недостаточен и далеко не соответствует минерально-сырьевому потенциалу. В то же время, отходы могут служить дополнительным сырьем для перерабатывающих предприятий, а рациональное их использование позволит значительно оздоровить экологическую ситуацию в этих регионах. Большая часть уже добытых и иногда раздробленных или прошедших через те или иные стадии технологических операций пород остается в виде отходов в отвалах, штабелях, накопительных бассейнах для осветления технических вод, рассеивается в атмосфере в форме пылей и газов. Количество таких отходов растет с огромной скоростью и образует значительную проблему не только для природно-территориальных комплексов, но и для здоровья людей. Вскрышные породы, получающиеся при разработке полезных ископаемых открытыми карьерами, особенно бедные руды, выщелоченные породы и угольные сажи превышают сотни миллионов тонн. Они могут быть использованы в качестве материалов для получения строительных изделий и закладки выработанного пространства, если их использовать вторично<sup>12</sup>.

<sup>10</sup><https://www.kazminerals.com/ru/>

<sup>11</sup>Алябьева Е.А., Сарбаева Е.В., Копылова Т.И., Воскресенская О.Л. Промышленная экология: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – 110 с.

<sup>12</sup>Бакенов М.М. Нетрадиционные и новые виды полезных ископаемых Казахстана. – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2008. – 140 с.

Антропогенные изменения состояния природной среды стали особенно значительными в последние десятилетия в связи с большой технической и энерговооруженностью человека, они приводят в отдельных случаях к резкому, быстрому изменению среднего состояния природной среды. Негативные результаты антропогенных воздействий, как правило, связаны с ошибками в промышленной политике, слабой изученностью эффектов человеческого воздействия, использования природной среды в качестве поглотителя вредных веществ и полигона их захоронения<sup>13</sup>. Необходимо заметить, что на любом производственном горном предприятии имеются отделы по охране окружающей среды и ведется работа экологов в природоохранном направлении. Но экологические структуры являются подведомственными и находятся под юрисдикцией управляющих компаний, которые владеют производством на месторождениях. Все это создает теневую завесу над всем горнодобывающим горизонтом Казахстана. Многие проблемы, зачастую, остаются неафишированными и элементарно замалчиваются, тем самым обнажая человеческий фактор и коррумпированность. В сложившейся ситуации представляется чрезвычайно важной организация контроля состояния природной среды независимыми органами, деятельность которых будет максимально объективной и лояльной к экологическим ценностям экономики и хозяйства. Также не стоит забывать о работе административного ресурса, в том числе юриспруденции в области охраны природы.

Роль горнодобывающей промышленности в структуре хозяйства Казахстана и Павлодарской области трудно переоценить. Это базовая отрасль хозяйства, значение которой остается чрезвычайно высоким и системообразующим. Следует понимать, что полезные ископаемые являются исчерпаемыми и когда-нибудь наступит день, когда они закончатся. В этой связи необходимо смотреть на несколько десятилетий вперед и развивать обрабатывающую промышленность и непромышленную сферу. Необходимо научиться использовать альтернативные источники энергии и повторно перерабатывать использованные материалы, в том числе различные отходы горнодобывающих предприятий, что будет одним из шагов к устойчивому развитию, поскольку жизнь и благополучие будущих поколений зависит от деятельности людей сегодня.

#### Сведения об авторах:

**Смаков Н.Б.**, магистрант 2 курса факультета географии и природопользования кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), [nazar\\_smakov\\_019@mail.ru](mailto:nazar_smakov_019@mail.ru); ORCID 0000-0003-1981-5528

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Смаков Н.Б.**, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті география және табиғатты пайдалану факультетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасы 2 курс студенті (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Smakov N.B.**, Second Year Undergraduate Student at the Department of Geography, Land Management and Cadastre of the Faculty of Geography and Environmental Sciences of the al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Расширение и модернизация промышленного производства, увеличение выпуска конкурентоспособной промышленной продукции становится основой для развития других отраслей экономики и стабилизации социальной сферы государства. Сегодня государственная промышленная политика направлена на развитие промышленного производства, внедрение высоких разработок и технологий, стимулирование наукоемких производств, осуществляющих выпуск инновационной продукции. Промышленная политика в Республике Казахстан, прежде всего, ориентирована на формирование условий для расширения масштабов промышленного производства, реализацию качественной конкурентоспособной продукции, создание принципиально новой импортозамещающей, экспортноориентированной и экологически безопасной наукоемкой продукции<sup>14</sup>.

Уже сейчас Казахстан сталкивается с критическим истощением своих недр. В последние десятилетия месторождения, открытые советскими геологами, разрабатывались слишком интенсивно, а геологоразведка еще не охватила все перспективные участки. Казахстан сталкивается с невозможностью пополнить истощенные запасы, и эта тенденция ведет к ухудшению ситуации. Истощение запасов многих основных полезных ископаемых значительно превышает скорость их роста после разведки. Увеличение запасов в случае некоторых металлов (железо, марганец, цинк) обусловлено в основном за счет переоценки и дополнительной разведки уже открытых месторождений. Однако существующие зарегистрированные запасы недавно открытых месторождений меди и золота имеют низкое качество и не могут считаться эквивалентными истощенным запасам. С момента обретения независимости Республики Казахстан, отечественная геология пришла в упадок, несмотря на то, что локомотивом экономики является горнодобывающая промышленность. Проблемы геологии, такие как геологоразведка новых и слабоизученных территорий, а также освоение уже открытых месторождений полезных ископаемых, практически не решаются, либо решаются на очень низком уровне. Если раньше функционировало целое отраслевое министерство геологии, то теперь от него остался лишь комитет, что, безусловно, наталкивает на определенные мысли<sup>15</sup>.

<sup>13</sup>Бельдеева Л.Н. Экологический мониторинг: учебное пособие. – Барнаул: АлГТУ им. И.И. Ползунова, 1999. – 122 с.

<sup>14</sup>Сартова Р.Б., Айгужинова Д.З. Развитие промышленного сектора Павлодарской области. – Алматы: Қазақ университеті, 2014. – 7 с.

<sup>15</sup><https://www.qazgeology.kz/>

Код МРНТИ 52.13.05

А.Н. Казаков, М.Р. Хакбердиев, Н.М. Шамсиева, А.А. Абдукодиоров

Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан)

## ИЗУЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты исследования трещиноватости массива горных пород с целью определения его влияния на устойчивость подземных горных выработок. По результатам методики роз-диаграмм выявлены направления основных систем трещинообразования, возникших на некоторых участках золоторудного месторождения Чармитан. Исследованы морфологические характеристики трещин, их соотношение с различными слоями пород, складками, разломами, результаты которых позволили определить, что по генезису эти трещинообразования на золоторудном месторождении Чармитан в основном имеют тектоническое происхождение, также было установлено, что наиболее опасными, с точки зрения устойчивости будут выработки, пройденные по продольным и диагональным трещинам, или пересекающие их под косым углом.

**Ключевые слова:** трещиноватость горного массива, районирование месторождений по горным ударам, удароопасные месторождения, деформационные процессы, исследования физико-механических свойств, обеспечение безопасности горных работ, диаграммы-розы, пространственное ориентирование трещин.

### Тау-кен қазбаларының тұрақтылығын бағалау кезінде тау жыныстарының жарықшақтарын зерттеу

**Андатпа.** Мақалада оның жер асты тау-кен қазбаларының тұрақтылығына әсерін анықтау мақсатында тау-кен жыныстары массивінің жарылуын зерттеу нәтижелері қарастырылады. Раушан-диаграмма әдістемесінің нәтижелері бойынша Чармитан алтын кен орнының кейбір учаскелерінде пайда болған жарықшақтардың пайда болуының негізгі жүйелерінің бағыттары анықталды. Жарықтардың морфологиялық сипаттамалары, олардың тау жыныстарының әртүрлі қабаттарымен, қатпарлармен, ақаулармен байланысы зерттелді, олардың нәтижелері Чармитан алтын кен орнындағы бұл жарықтардың генезисі бойынша негізінен тектоникалық шыққанын анықтауға мүмкіндік берді, сонымен қатар тұрақтылық тұрғысынан ең қауіпті қазбалар бойлық және диагональды жарықтармен өтетін немесе оларды қиғаш бұрышпен кесіп өтетіні анықталды.

**Түйінді сөздер:** тау сілемінің сынуы, кен орындарын тау соққылары бойынша аудандастыру, соққы қауіпті кен орындары, деформациялық процестер, физика-механикалық қасиеттерін зерттеу, тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету, диаграмма-раушандар, жарықтардың кеңістіктік бағдарлануы.

### Studies of rock fracturing in assessing the stability of mine workings

**Abstract.** The article deals with the results of the study of rock mass fracturing in order to determine its influence on the stability of underground mine workings. According to the results of the rose diagram technique, the directions of the main crack formation systems that have arisen in some areas of the Charmitan gold deposit are identified. The morphological characteristics of the cracks, their relationship with various rock layers, folds, and faults were studied, the results of which allowed us to determine that the genesis of these cracks in the Charmitan gold deposit is mainly of tectonic origin, and it was also found that the most dangerous, from the point of view of stability, will be the workings that pass through longitudinal and diagonal cracks or intersect them at an oblique angle.

**Key words:** fractures of the rock mass, zoning of deposits by rock impacts, impact hazard of the field, deformation processes of rocks, physical and mechanical properties, ensuring the safety of mining operations, electrical diagrams, spatial orientation of cracks, structural attenuation coefficient, stress-strain state of the rock mass, seismotectonic activity.

### Введение

При изучении напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород при подземной разработке месторождений Узбекистана на больших глубинах необходимо уделять особое внимание задачам, связанным с устойчивостью подземных горных выработок и целиков, т. к. от правильного прогнозирования поведения массива месторождения, находящегося под нагрузкой, зависит рациональность и безопасность ведения горных работ. На золоторудных месторождениях Узбекистана в сложных условиях разработки, к которым относятся крутопадающее залегание полезных ископаемых, большая глубина разработки и повышенная сейсмико-тектоническая активность, оценка устойчивости горных выработок

имеет немаловажное значение для эффективного функционирования горнорудного предприятия.

Как известно, структурные особенности массива горных пород являются одними из основных факторов, влияющих на устойчивость горных выработок, главным показателем структурных особенностей массива является его трещиноватость<sup>1</sup> [1].

Имея сведения о трещиноватости горного массива, можно судить об особенностях проявления горного давления в горных выработках. Многолетние наблюдения показывают, что повсеместно развитая трещиноватость массива горных пород оказывает существенное влияние как на технологию выемки полезного ископаемого, так и на устойчивость горных выработок, в связи с этим трещиноватость

играет важную роль при выборе технологических параметров горной разработки. Изучение трещиноватости способствует повышению безопасности и производительности труда. Трещиноватость в некоторых случаях может иметь положительное значение при разработке месторождений, но в большинстве случаев способствует развитию вредных для горного производства горно-геологических процессов и явлений, таких как сдвигание пород, горные удары, обвалы и т. д. Результаты анализа обрушений горных выработок на Чармитанском месторождении показали, что около 80% от общего их числа вызвано интенсивно развитой трещиноватостью горных пород. Таким образом, совершенно очевидна необходимость изучения трещиноватости массива с целью

<sup>1</sup>Сученко В.Н., Иофис М.А. Гришин А.В. и др. Способ определения деформаций горных пород в зонах, недоступных для прямых измерений. / Патент №2509889 Российская Федерация: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Российский университет дружбы народов (РУДН).

Пространственная ориентировка трещиноватости горных пород

Таблица 1

Тау жыныстарының жарықшақтарын кеңістіктік бағдарлау

Сурет 1

Spatial orientation of rock fractures

Table 1

№	Азимут падения, град	Угол падения, град	Классификация трещин по углу падения
I	СВ 20	40	Пологие
II	ЮВ 108	570	Крутые
III	СЗ 274	700	Очень крутые
IV	ЮЗ 210	800	Очень крутые
V	СВ 20	770	Очень крутые

определения ее влияния на устойчивость горных выработок<sup>2</sup> [2].

**Методы**

При исследовании трещиноватости массива основное внимание уделяется следующим задачам [3, 4]:

- пространственное ориентирование трещин и установление главных направлений развития трещин;
- определение генетического типа трещин и выделение региональных и локальных трещин;
- определение интенсивности трещиноватости пород с целью количественной оценки степени раздробленности пород, выделение участков, различающихся по интенсивности трещиноватости;
- оценка влияния трещин, систем трещин и зон ослабления на прочность, деформируемость и водопроницаемость пород, а также на устойчивость массива и проектируемых сооружений.

В соответствии с поставленными задачами производились исследования трещиноватости пород на Чармитанском месторождении для выявления ее влияния на устойчивость горных выработок.

Изменение характера тектонического поля напряжений во времени объясняется изменением характера внешней системы сил и появлением разрывов и трещин. Анизотропия горных пород влияет на расположение в пространстве разрывов, вызывая некоторое их отклонение и приближение к поверхностям с повышенной прочностью.

По направлениям залегания тектонических трещин построены

диаграммы-розы для +780, +720 и +660 горизонтов горных выработок Чармитанского месторождения и получены сводные диаграммы-розы мелкоамплитудных разрывных нарушений (рис. 1). Замеры этих параметров трещин группировались по интервалам через 5° и 10°. При обработке данных получено 4 диаграммы-розы.

По результатам данных диаграмм выявлены направления основных систем трещин, образовавшихся на этих участках. Сопоставление систем трещин по различным участкам показало,

что их пространственная ориентировка (табл. 1) варьирует в незначительных пределах, что позволяет выделить основные системы трещин для Чармитанского месторождения.

Исследования морфологии трещин, их соотношения со слоями пород, складками, разломами позволили определить, что по генезису они в основном тектонические. Выявлено, что на месторождении имеются три типа участков по степени трещиноватости: слаботрещиноватые (модуль трещиноватости составляет в среднем 1,4-1,6 тр/п.м);

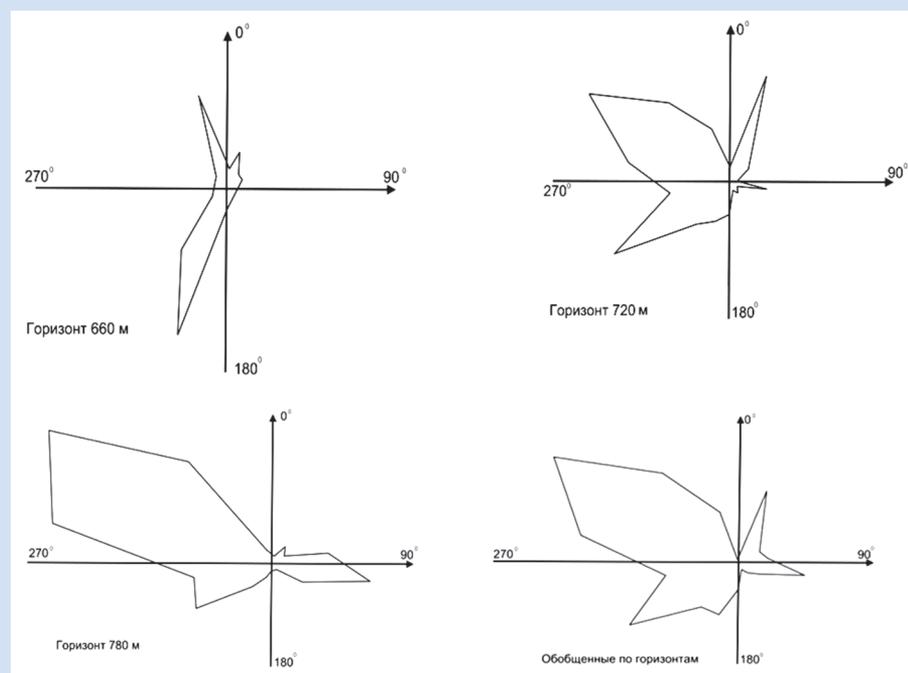
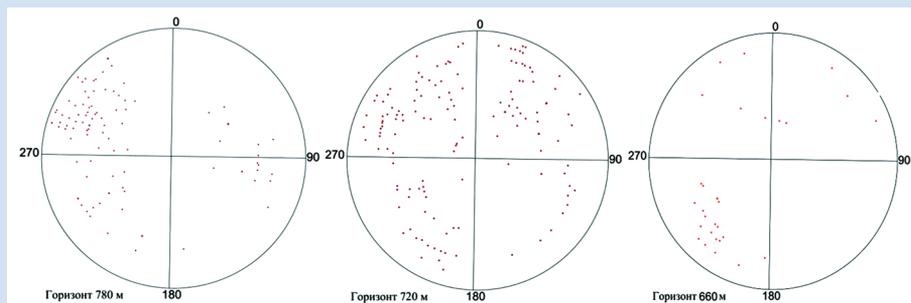


Рис. 1. Диаграммы-розы мелкоамплитудных разрывных нарушений.

Сурет 1. Шағын амплитудалық ақаулардың раушан-диаграммалары.

Figure 1. Diagrams-roses of small-amplitude discontinuous faults.

<sup>2</sup>Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика: учебник для вузов. – М.: Издательство Московского горного университета, 2008. – 2-е изд. – 438 с. ISBN 978-5-7418-0528-2



**Рис. 2. Круговые диаграммы трещиноватости.**  
**Сурет 2. Сызаттардың дөңгелек диаграммалары.**  
**Figure 2. Circular fracture diagrams.**

среднетрещиноватые (модуль превышает величину 2,6 тр./п.м); сильнотрещиноватые (модуль более 5 тр./п.м).

На месторождении преобладают продольные и диагональные трещины. Более опасными, с точки зрения устойчивости, будут выработки, пройденные по ним или пересекающие их под косым углом.

Наибольшая частота углов падения трещин от 21° до 40° и от 61° до 80°. Более опасными являются трещины с углами падения от 61° до 80°, которые в случае подсечения их выработками могут стать поверхностями скольжения.

Для сопоставления с розами-диаграммами построены круговые диаграммы, которые позволяют судить о совместном распределении элементов залегания и степени выраженности систем разрывных трещин (рис. 2).

Пространственное размещение коэффициента структурного ослабления тесно связано с геометрией размещения трещиноватости и НДС горного массива. Выделение элементарного структурного блока породного массива показало необходимость учета этого фактора при оценке устойчивости горных выработок.

Интенсивность вывалов пород в горных выработках описывается

вероятностно-статическими моделями на основе количественной оценки неоднородностей свойств горного массива по данным геометризации трещиноватости, коэффициента структурного ослабления прочностных показателей пород [6-8].

По ориентировке в пространстве и интенсивности проявления все крупные трещины закономерно связаны с основными элементами геологической структуры района. Каждый структурный блок характеризуется различной трещиноватостью. Очень неравномерно распространены эти трещины даже на участках с одинаковой структурной позицией.

#### **Заключение**

Таким образом, в целом следует отметить, что влияние трещиноватости на устойчивость заключается в том, что проявления горного давления, такие как отслоения, вывалы и т. д. происходят по наиболее развитым системам трещин. Также наиболее опасными, с точки зрения устойчивости, будут выработки, пройденные по продольным и диагональным трещинам или пересекающие их под косым углом.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Панжин А.А., Панжина Н.А. Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях. // ГИАБ. – 2007. – №3. – С. 171-183. (на русском языке)
2. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Организация геодинамического мониторинга на карьерах Качканарского ГОКа. // Проблемы недропользования. – 2015. – №1(4). – С. 45-54. (на русском языке)
3. Саййидкосимов С.С., Хакбердиев М.Р. Анализ напряженно-деформированного состояния горного массива. // Республиканская научно-техническая конференция «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития». – Навои, 2016. – С. 14-15. (на русском языке)
4. Хакбердиев М.Р., Казаков А.Н. Анализ методов и средств прогноза удароопасности. // Международная научно-практическая конференция «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Алматы, 2017 (27-28 апреля). – С. 84-88. (на русском языке)
5. Мухитдинов Ш.Р., Казаков А.Н., Хакбердиев М.Р. Оценка категории удароопасности массива горных пород на месторождении Чармитан. // Мониторинг. Наука и технологии. – 2019. – №2. – С. 24-29. (на русском языке)
6. Саййидкосимов С.С., Казаков А.Н., Хакбердиев М.Р. Модели полей тектонических напряжений в массиве горных пород в условиях подземной разработки золоторудных месторождений. // ГИАБ. – М., 2017. – Спецвыпуск. – С. 23-36. (на русском языке)
7. Kazakov A.N., Khakberdiev M.R., Rakhitova M.N. Исследование напряженного состояния массива вокруг горизонтальных горных выработок со сводчатым контуром. // Международный журнал передовых исследований в области науки, техники и технологий. – 2021. – Т. 8. – Вып. 2. – С. 25-28. (на английском языке)
8. Хакбердиев М.Р., Тухсариев Б.Б., Саитов Д.Т. Организация системы геодинамического мониторинга с целью определения деформационных явлений в глубоком карьере

Мурунтау. // *Международный научно-образовательный электронный журнал «Образование и наука в XXI веке»*. – 2021. – Вып. 12. – Т. 2. – С. 638-648.  
(на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Панжин А.А., Панжина Н.А. Тау-кен кәсіпорындары мен урбандалған аумақтардағы геодинамикалық процестердің мониторингі. // *Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені*. – 2007. – №3. – Б. 171-183. (орыс тілінде)
2. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Качканар КБК карьерлерінде геодинамикалық мониторингті ұйымдастыру. // *Жер қойнауын пайдалану мәселелері*. – 2015. – №1(4). – Б. 45-54. (орыс тілінде)
3. Сайидкосимов С.С., Хакбердиев М.Р. Тау массивінің кернеулі-деформацияланған күйін талдау. // «Тау-кен металлургия кешені: инновациялық дамудың жетістіктері, мәселелері мен перспективалары» Республикалық ғылыми-техникалық конференциясы – Науаи, 2016. – Б. 14-15. (орыс тілінде)
4. Хакбердиев М.Р., Казаков А.Н. Соққы қауіптілігін болжау әдістері мен құралдарын талдау. // «Тау-кен металлургия кешенінің инновациялық дамуын ғылыми және кадрлық сүйемелдеу атты» Халықаралық ғылыми-практикалық конференция». – 2017. (27-28 сәуір). – Б. 84-88. (орыс тілінде)
5. Мухитдинов Ш.Р., Казаков А.Н., Хакбердиев М.Р. Чармитан кен орнындағы тау жыныстары массивінің соққы қауіптілік санатын бағалау. // *Мониторинг. Ғылым және технологиялар*. – 2019. – №2. – Б. 24-29. (орыс тілінде)
6. Сайидкосимов С.С., Казаков А.Н., Хакбердиев М.Р. Алтын кен орындарын жер асты игеру жағдайында тау жыныстары массивіндегі тектоникалық кернеулер өрістерінің модельдері. // *Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені*. – М., 2017. – Арнайы шығарылым. – Б. 23-36. (орыс тілінде)
7. Kazakov A.N., Khakberdiev M.R., Rakhitova M.H. Күмбезді контуры бар көлденең тау-кен қазбаларының айналасындағы массивтің кернеулі күйін зерттеу. // *Ғылым, техника және технологиялар саласындағы озық зерттеулердің халықаралық журналы*. – 2021. – Т. 8. – Шығ. 2. – Б. 25-28. (ағылшын тілінде)
8. Хакбердиев М.Р., Тухсариев Б.Б., Саитов Д.Т. Мурунтаудың терең карьеріндегі деформациялық құбылыстарды анықтау мақсатында геодинамикалық мониторинг жүйесін ұйымдастыру. // «XXI ғасырдағы білім және ғылым» Халықаралық ғылыми-білім беру электрондық журналы. – 2021. – Шығ. 12. – Т. 2. – Б. 638-648. (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Panzhin A.A., Panzhina N.A. Monitoring geodinamicheskix processov na gornyx predpriyatiyax i urbanizirovannyx territoriyax [Monitoring of geodynamic processes at mining enterprises and urbanized territories]. // *GIAB = Mining information and analytical bulletin*. – 2007. – №3. – P. 171-183. (in Russian)
2. Sashurin A.D., Panzhin A.A. Organizaciya geodinamicheskogo monitoringa na kar'erax Kachkanarskogo GOKa [Organization of geodynamic monitoring at the quarries of the Kachkanar mining and processing plant]. // *Problemy nedropol'zovaniya = Problems of subsurface use*. – 2015. – №1(4). – P. 45-54. (in Russian)
3. Sayyidkosimov S.S., Khakberdiev M.R. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva [Analysis of the stress-strain state of the mountain massif]. // *Respublikanskaya nauchno-texnicheskaya konferenciya «Gorno-metallurgicheskij kompleks: dostizheniya, problemy i perspektivy innovacionnogo razvitiya» = Republican Scientific and Technical Conference «Mining and Metallurgical Complex: Achievements, problems and prospects of innovative development»*. – Navoi, 2016. – P. 14-15. (in Russian)
4. Khakberdiev M.R., Kazakov A.N. Analiz metodov i sredstv prognoza udaroopasnosti [Analysis of methods and tools for predicting impact hazard]. // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Nauchnoe i kadrovoe soprovozhdenie innovacionnogo razvitiya gorno-metallurgicheskogo kompleksa» = International scientific and practical conference «Scientific and personnel support of innovative development of the mining and metallurgical complex»*. – Almaty, 2017 (April 27-28). – P. 84-88. (in Russian)
5. Mukhitdinov Sh.R., Kazakov A.N., Khakberdiev M.R. Ocenka kategorii udaroopasnosti massiva gornyx porod na mestorozhdenii Charmitan [Evaluation of the category of impact

- hazard of the rock mass at the Charmitan field]. // Monitoring. Naukai texnologii = Monitoring. Science and technology. – 2019. – №2. – P. 24-29. (in Russian)*
6. *Sayyidkosimov S.S., Kazakov A.N., Khakberdiev M.R. Modeli polej tektonicheskix napryazhenij v massive gornyx porod v usloviyax podzemnoj razrabotki zolotorudnyx mestorozhdenij [Models of tectonic stress fields in the rock mass under conditions of underground mining of gold deposits]. // GIAB = Mining information and analytical bulletin. – Moscow, 2017.– Special issue. – P. 23-36. (in Russian)*
  7. *Kazakov A.N., Khakberdiev M.R., Rakhimova M.H. Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya massiva vokrug gorizonta'lnyx gornyx vyrabotok so svodchatym konturom [Study of the stress state of the massif around horizontal mining workings with a vaulted contour]. // Mezhdunarodnyj zhurnal peredovykh issledovanij v oblasti nauki, tekhniki i texnologij = International journal of advanced research in science, engineering and technology. – 2021. – Vol. 8. – Issue 2. – P. 25-28. (in English)*
  8. *Khakberdiev M.R. Tukhsariyev B.B. Saitov D.T. Organizatsiya sistemy geodinamicheskogo monitoringa s cel'yu opredeleniya deformatsionnyx yavlenij v glubokom kar'ere Muruntau [Organization of the geodynamic monitoring system for determining deformation phenomena in the deep Muruntau quarry]. // Mezhdunarodnyj nauchno-obrazovatel'nyj e'lektronnyj zhurnal «Obrazovanie i nauka v XXI veke» = International scientific and educational electronic journal «Education and science in the XXI century». – 2021. – Issue 12. – Vol. 2. – P. 638-648. (in Russian)*

#### Сведения об авторах:

**Казакон А.Н.**, PhD, заведующий кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [azlik19@yandex.ru](mailto:azlik19@yandex.ru); ORCID 0000-0001-9862-6594

**Хакбердиев М.Р.**, докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [zafarzafar2066@gmail.com](mailto:zafarzafar2066@gmail.com); ORCID 0000-0002-8386-4036

**Шамсиева Н.М.**, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [zafarzafar2066@gmail.com](mailto:zafarzafar2066@gmail.com); ORCID 0000-0002-6630-423X

**Абдукодиров А.А.**, ассистент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [abdurauf.mark@gmail.com](mailto:abdurauf.mark@gmail.com); ORCID 0000-0002-6189-1287

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Казакон А.Н.**, PhD, И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының меңгерушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Хакбердиев М.Р.**, И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторанты (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Шамсиева Н.М.**, И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы. И. Каримова (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Абдукодиров А.А.**, И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының ассистенті (Ташкент қ., Өзбекстан)

#### Information about the authors:

**Kazakov A.N.**, PhD, Head at the Department of «Surveying and Geodesy» of the Tashkent State Technical University named after I. Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Khakberdiev M.R.**, Doctoral Student at the Department of «Surveying and Geodesy» of the Tashkent State Technical University named after I. Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Shamsieva N.M.**, Senior Lecturer at the Department of «Surveying and Geodesy» of the Tashkent State Technical University named after I. Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Abdukodirov A.A.**, Assistant at the Department of «Surveying and Geodesy» of the Tashkent State Technical University named after I. Karimov (Tashkent, Uzbekistan)



## Всероссийская научно-техническая конференция с участием иностранных специалистов “Цифровые технологии в горном деле”

Горный институт Кольского научного центра РАН  
Апатиты, 16-18 июня 2021г.

Конференция является площадкой для обсуждения научных и практических достижений в цифровизации горного производства, включая вопросы импортозамещения.

Основные направления работы конференции:

- Цифровые технологии и компьютерное моделирование объектов и процессов горного производства для решения задач рациональной и безопасной обработки месторождений полезных ископаемых.
- Цифровые технологии в геомеханическом обеспечении горных работ.
- Цифровые технологии для решения задач повышения полноты и комплексности извлечения полезных ископаемых из рудного и техногенного минерального сырья.
- Цифровые технологии и компьютерное моделирование в решении экологических проблем горной отрасли.

Заявки на участие принимаются по электронной почте [conf@goi.kolasc.net.ru](mailto:conf@goi.kolasc.net.ru)

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук  
184209 г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24.  
Факс: (81555) 74-625. Телефоны: (81555) 79-685, (81555) 79-567



Код МРНТИ 52.47.17

А.Ф. Булат, А.П. Круковский, К.А. Безручко, В.В. Круковская

*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина)*

## РАЗВИТИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Аннотация.** Предложена гипотеза формирования вторичной трещинно-пористой структуры в породах на газовых месторождениях. При снижении давления газа в разрабатываемом коллекторе происходит разуплотнение близлежащих низкопористых песчаников, способствуя формированию в них техногенных коллекторов. Разработана соответствующая математическая модель и выполнено численное моделирование. Показано, что повышение разнокомпонентности поля напряжений в окружающих коллектор породах приводит к возможности развития в них процесса трещинообразования, роста проницаемости и повышения их газоотдачи. Представлено изменение влияния геологических и геомеханических критериев разработки газовых месторождений во времени: на начальном этапе эксплуатации месторождения геологические критерии играют определяющую роль, а в процессе эксплуатации месторождения, особенно на ее завершающей стадии, к геологическим критериям добавляются геомеханические, которые оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на процесс добычи газа.

**Ключевые слова:** газовые месторождения, добыча газа, продуктивный коллектор, геологические и геомеханические процессы, численное моделирование, деформирование породного массива.

### Газ кен орындарын пайдалану кезінде геомеханикалық процестерді дамыту

**Андатпа.** Газ кен орындарындағы тау жыныстарында екінші реттік жарықшақ-кеуекті құрылымның пайда болуы туралы гипотеза ұсынылған. Дамыған коллектордағы газ қысымының төмендеуімен жақын маңдағы төмен кеуекті құмтас тығыздалады, оларда техногендік коллекторлардың пайда болуына ықпал етеді. Тиісті математикалық модель жасалды және сандық модельдеу жүргізілді. Коллектордың айналасындағы жыныстардағы кернеу өрісінің әртүрлілігінің жоғарылауы олардағы жарықшақтардың пайда болу процесінің дамуына, өткізгіштіктің өсуіне және олардың газ өткізгіштігінің жоғарылауына әкелетіні көрсетілген. Уақыт өте келе газ кен орындарын игерудің геологиялық және геомеханикалық өлшемдерінің әсерінің өзгеруі ұсынылған: кен орнын пайдаланудың бастапқы кезеңінде геологиялық критерийлер шешуші рөл атқарады, ал кен орнын пайдалану процесінде және әсіресе оның соңғы сатысында гео-механикалық критерийлер қосылады, олар газ өндіру процесіне оң да, теріс те әсер етеді.

**Түйінді сөздер:** газ кен орындары, газ өндіру, өнімді коллектор, геологиялық және геомеханикалық процестер, сандық модельдеу, тау жыныстарын деформациялау.

### Development of geomechanical processes in the operation of gas fields

**Abstract.** Forecasting the impact of technogenic processes (both negative and positive) on the facilities of the oil and gas complex, the natural and technical systems, and the natural environment as a whole, at the long-term development of gas fields is a topical issue. The purpose of the study is a theoretical justification of the impact of the geomechanical factor on the extraction of additional volumes of gas with long-term operation of gas fields. The hypothesis of forming the secondary fracture-porous structure in rocks at gas fields is proposed. A corresponding mathematical model is developed and numerical simulation is performed. With a gas pressure decrease in the reservoir under development, there is decompression of nearby low-porosity sandstones, contributing to the formation of technogenic reservoirs in them. It is shown that an increase in the multi-component of the stress field in the rocks surrounding the reservoir leads to the possibility of the development of fracturing in them, growth in permeability, and an increase of their gas recovery. The change in the impact of geological and geomechanical criteria for the development of gas fields in time is presented: at the initial stage in the operation of the field, geological criteria play a decisive role, and in the process of operation of the field and especially at its final stage, geomechanical criteria, which have both positive and negative impact on gas production are added to geological ones.

**Key words:** gas fields, productive reservoir, geological and geomechanical processes, numerical simulation, rock massif, deformation, gas pressure, multi-component, gas recovery, mathematical model.

### Введение

Разработка нефтяных и газовых месторождений и связанные с ними изменения пластового давления, различные виды воздействия на залежь для поддержания пластового давления и повышения газо- и нефтеотдачи, нарушают природное напряженно-деформированное состояние (НДС) недр, создавая предпосылки для возникновения сильных и даже катастрофических природно-техногенных явлений, которые приводят к деформациям горного массива и земной поверхности, авариям, повреждению систем и объектов обустройства, а также скважин и коммуникаций [1].

На проявление опасных геодинамических процессов, реализующихся в разрушающие явления, влияет большое количество факторов и условий, но в их основе лежат геомеханические процессы. Именно недооценка влияния геомеханических процессов приводит к формированию условий возникновения необратимых геодинамических явлений, разрушающих скважины, трубопроводы, горнодобывающее оборудование и инженерные сооружения [2].

Прогнозирование этих событий и снижение масштабов их последствий является актуальной проблемой, поскольку их возникновение оказывает крайне негативное влияние на объекты нефтегазового комплекса, природно-технические системы и природную среду в целом.

Однако техногенные геомеханические процессы, помимо негативных явлений, могут сопровождаться положительным эффектом, когда на поздней стадии эксплуатации месторождения вследствие деформации породного массива и смещения отдельных слоев в процесс газодобычи включаются не только основной (суперколлектор), но и второстепенные коллекторы. Опыт длительной разработки целого ряда углеводородных месторождений засвидетельствовал значительное превышение объемов получаемого газа в сравнении с подсчитанными запасами по данным геологической разведки. В этом смысле самым показательным является Шебелинское месторождение (Украина), где прирост запасов газа лишь в последнее время составил 83,6 млрд м<sup>3</sup>.

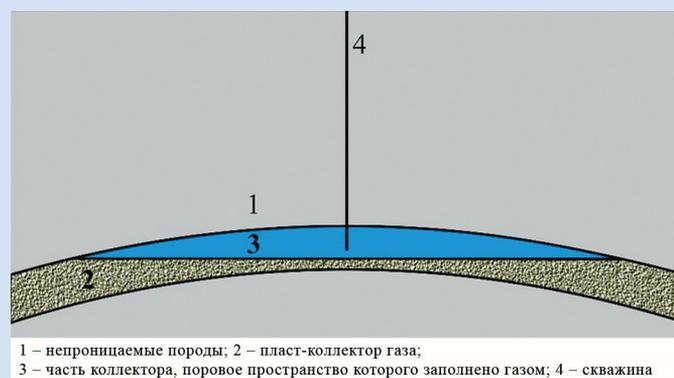
Принято считать<sup>1</sup>, что основной объем прироста запасов газа и дополнительная его добыча на поздних стадиях разработки крупных месторождений происходит за счет расширения площадей газоносности и уточнения подсчетных параметров. Однако увеличение объемов запасов газа на завершающих стадиях эксплуатации месторождения, на наш взгляд, является результатом вовлечения в газоотдачу толщ низкопроницаемых слабогазоносных пород, которые не были учтены при предыдущих подсчетах запасов газа и которые отдают газ по всей площади месторождения через контакт с высокопроницаемыми пластами по мере снижения в них давления. Приведенные факты свидетельствуют о нераскрытом потенциале многих месторождений и необходимости последующей доразведки с пониманием природы и соответствующим научным обоснованием факторов процесса привлечения к добыче значительных дополнительных объемов газа.

Формирование газовых залежей в угленосных отложениях может происходить за счет перераспределения газа в угленосном массиве, когда естественные или техногенные факторы повышают подвижность метана в системе и способствуют активизации процесса его миграции. Высвобождение метана может происходить, например, в результате тектонических процессов, когда трещиноватость, которая возникает в зоне разуплотнения, увеличивает проницаемость углеводородных пород. В результате нарушается постоянное равновесие в системе «вода – газ» породного массива, что способствует формированию зон или отдельных скоплений метана, которые отличаются от фоновых распространений метана<sup>2-4</sup> не объемами, а повышенной трещинно-поровой или трещинной газопроницаемостью. В приведенной схеме формирования техногенных скоплений газа определяющим фактором является процесс разуплотнения и трещинообразования, что связано с подработкой породного массива горными выработками, то есть геомеханический фактор, который влечет за собой увеличение газонасыщенности (степени заполнения пор газом) за счет увеличения объема порового пространства, когда газ первым приобретает большую подвижность и направляется к месту разуплотнения<sup>3,4</sup> (меньшего давления).

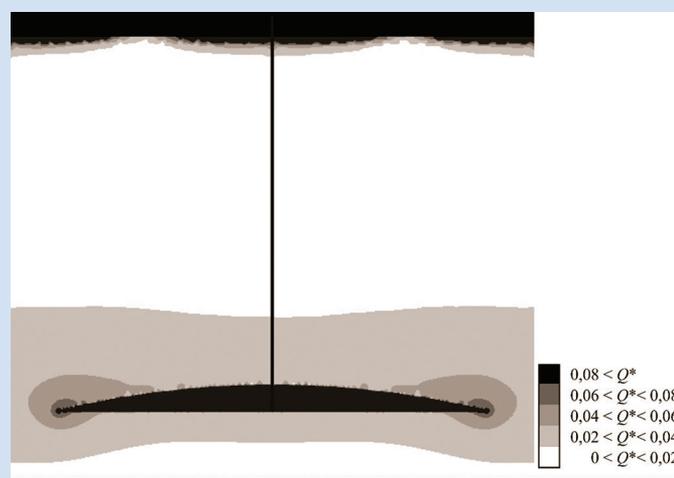
Подключение к газоотдаче низкопроницаемых слабогазоносных пластов и слабодренированных участков подтверждено геофизическими данными на всех месторождениях, которые изучались, и является одним из главных факторов роста запасов и добычи. Определено, что они дренируются через контакт с высокопроницаемыми пластами практически по всей площади залежей<sup>1</sup>. В некотором смысле можно утверждать, что определенная часть газа, который

добывается на Шебелинском и подобных месторождениях, является аналогом центральнобассейнового или «сланцевого» газа, находящегося в плотных песчаниках и глинистых породах и мобилизуемого на поздних стадиях разработки месторождения.

Логично предположить, что наличие перетоков газа из низкопроницаемых пластов в высокопроницаемые и вовлечение в разработку запасов газа, содержащегося в низкопроницаемых слабогазоносных коллекторах, также может быть следствием геомеханических процессов, которые происходят при длительной эксплуатации газового месторождения. Опыт промышленной добычи угольного метана свидетельствует, что при извлечении флюидов из угольно-породного массива, прилегающего к скважинам, происходит изменение НДС и коллекторских свойств углеводородной толщи, которые могут проявляться, в частности, в существенном увеличении измеренной проницаемости угольных



**Рис. 1. Схема газового коллектора.**  
**Сурет 1. Газ коллекторының сызбасы.**  
**Figure 1. Gas reservoir scheme.**



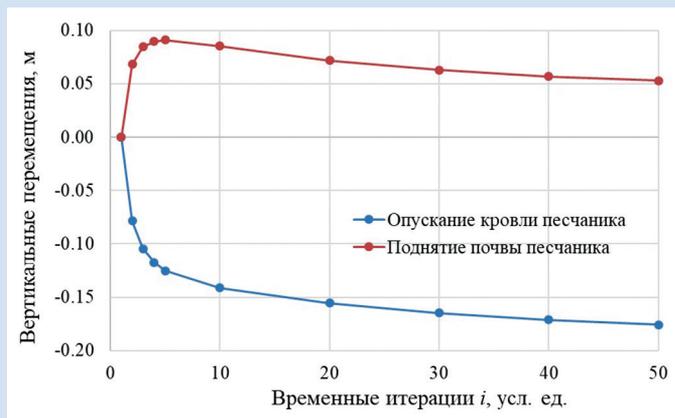
**Рис. 2. Распределение значений параметра Q\*.**  
**Сурет 2. Q\* параметрінің мәндерін бөлу.**  
**Figure 2. Distribution of Q\* parameter values.**

<sup>1</sup>Кривуля С.В. Критерії дорозвідки великих родовищ вуглеводнів у нижньопермсько-верхньокам'яновугільних відкладах Дніпровсько-Донецької западини. – Харків: ТО Ексклюзив, 2014. – 171 с.

<sup>2</sup>Лукинов В.В., Пимоненко Л.И. Тектоника метанугольных месторождений Донбасса. – Киев: Наукова думка, 2008. – 352 с.

<sup>3</sup>Булат А.Ф., Безручко К.А. Система вода-газ в массиве горных пород Донбасса. – Киев: Наукова думка, 2015. – 191 с.

<sup>4</sup>Булат А.Ф., Лукинов В.В., Безручко К.А. Умови формування газових пасток у вугленосних відкладах. Киев: – Наукова думка, 2017. – 252 с.



**Рис. 3. Опускание кровли песчаника и поднятие его почвы.**

**Сурет 3. Құмтастың төбесін түсіру және оның топырағын көтеру.**

**Figure 3. Lowering the roof of sandstone and raising its soil.**

пластов по сравнению с расчетной, а также в обеспечении, в большинстве случаев, очень длительного функционирования добывающих скважин [3].

Как отмечается в работе [4], во время нарушения равновесия массивов горных пород, что является следствием извлечения углеводородов, происходит деформация как продуктивных пластов (коллекторов), так и окружающих горных пород. Обращает на себя внимание подобие качественной картины деформации массивов горных пород при разработке нефтяных и газовых, а также угольных месторождений. При этом важной особенностью является деформированность продуктивных пластов, которые содержат углеводороды, а также плотная связь НДС состояния пласта-коллектора и вмещающих пород, которые необходимо рассматривать как единую систему. Эта закономерность проявляется также при деформации угле вмещающей толщи при выемке угольных пластов, причем особенно наглядно – при разработке свиты угольных пластов.

Таким образом, формирование вторичной трещинно-пористой структуры в породах на эксплуатируемых газовых и газоконденсатных месторождениях может происходить в результате снижения давления газа и развития деформаций сжатия в продуктивном коллекторе, которые, соответственно, ведут к возникновению деформаций растяжения, в том числе и в близлежащих низкопористых коллекторах, способствуя улучшению их фильтрационно-емкостных свойств, перераспределению водной и газовой фаз, формированию концентрированного газо-водяного контакта и привлечению свободного газа в процесс перетока в основной продуктивный пласт, или в заново образованный техногенный коллектор, непосредственно не связанный с зоной фильтрации добывающей скважины.

Целью данной работы является теоретическое обоснование влияния геомеханического фактора на возможность извлечения дополнительных объемов газа из низкопористых коллекторов при эксплуатации

газовых месторождений и аналитическая проверка вышеизложенной гипотезы формирования техногенного коллектора за счет перетока свободного газа из низкопроницаемых пород в «суперколлектор».

### Методы

Для решения задачи используется метод численного моделирования связанных геомеханических и фильтрационных процессов, происходящих при отработке газовых месторождений. Эти процессы описываются уравнениями [5]:

$$c_s \times \partial/\partial t = \sigma_{ij,j} + X_i(t) + P_i(t) = 0; \quad (1)$$

$$\partial p/\partial t = K/2m\mu(\partial^2 p^2/\partial x^2 + \partial^2 p^2/\partial y^2) + q(t),$$

где  $\sigma_{ij,j}$  – производные от компонент тензора напряжений по  $x, y$ , МПа/м;

$c_s$  – коэффициент демпфирования, Нс/м;

$u_i$  – перемещение, м;

$t$  – время, с;

$X_i(t)$  – проекции внешних сил, которые действуют на единицу объема породы, Н/м<sup>3</sup>;

$P_i(t)$  – проекции сил, обусловленных давлением флюидов в трещинно-поровом пространстве, Н/м<sup>3</sup>;

$p$  – давление газа, МПа;

$K$  – проницаемость породы, которая равна сумме естественной и техногенной проницаемости ( $K = k + k_{тех}$ ), мДа;

$k_{тех} = f(\sigma_{ij})$  [6];

$m$  – пористость породы, %;

$\mu$  – вязкость газа, Па·с;

$q(t)$  – функция газовыделения.

В качестве начальных условий для поставленной задачи принимаются:

$$\sigma_{yy}|_{t=0} = \gamma h; \quad \sigma_{xx}|_{t=0} = \lambda \gamma h; \quad p|_{t=0} = p_0, \quad (2)$$

где  $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}$  – вертикальные и горизонтальные компоненты тензора напряжений, МПа;

$\gamma$  – усредненный вес вышележащих горных пород, Н/м<sup>3</sup>;

$h$  – глубина разработки, м;

$\lambda$  – коэффициент бокового распора;

$p_0$  – пластовое давление газа в момент времени  $t = 0$ .

Граничные условия:

$$u_x|_{\Omega_1} = 0; \quad u_y|_{\Omega_2} = 0; \quad p|_{\Omega_3(t)} = p_0; \quad p|_{\Omega_4} = p_{сва}, \quad (3)$$

где  $\Omega_1, \Omega_2$  – вертикальные и горизонтальные границы внешнего контура;

$\Omega_3$  – граница области фильтрации;

$\Omega_4$  – контур скважины;

$p_{сва}$  – давление газа в скважине, МПа.

Система дифференциальных уравнений (1) с начальными и граничными условиями (2, 3) решается с помощью метода конечных элементов. Для анализа поля напряжений используется параметр  $Q^*$ , который характеризует разнокомпонентность поля напряжений  $Q^* = (\sigma_1 - \sigma_3)/\gamma h$ .

При решении тестовой задачи принято, что начальное давление газа – 20 МПа, пористость песчаника – 15%, глубина центральной части пласта-коллектора (рис. 1) – 2000–2200 м, радиус кривизны пласта – 5000 м, высота области коллектора, занятой газом, – 150 м. Размеры конечно-элементной сетки – 3000 × 3000 м, ее верхняя граница – земная поверхность.

### Результаты численного моделирования и их обсуждение

В результате решения поставленной задачи были получены поля напряжений, деформаций, проницаемости и давления газа в каждом узле конечно-элементной

сетки в различные моменты времени. Показано, что в начале эксплуатации газового месторождения изменение давления газа в резервуаре незначительно и не влияет заметно на перераспределение поля напряжений. Максимальные значения перемещений точек породного массива и земной поверхности происходят после того, как давление газа в коллекторе падает до минимального значения. Распределение значений параметра  $Q^*$  в исследуемой области при 3 МПа показано на рис. 2. Видно, что вне зоны влияния разрабатываемого пласта и земной поверхности значение  $Q^*$  близко к нулю.

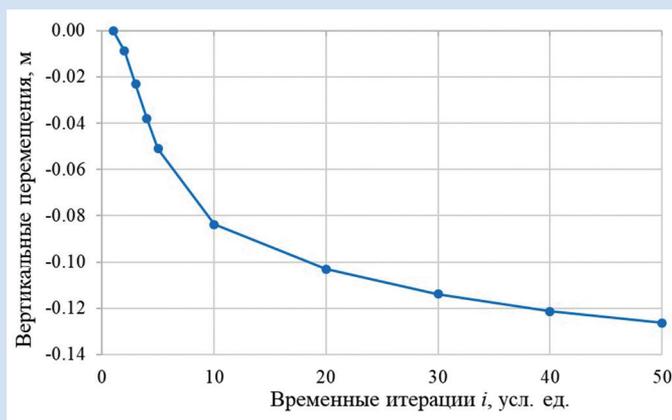
В конце эксплуатации газового месторождения значения разнокомпонентности поля напряжений  $Q^*$  в коллекторе максимальны. В окружающих его породах значения  $Q^*$  также повышаются, что говорит о возможности развития процесса трещинообразования. Если в этой зоне находится низкопористый коллектор газа, его газоотдача может повыситься, обусловленная ростом проницаемости.

Из рис. 3 видно, что породы, расположенные под коллектором ( $y > 2200$  м), перемещаются вверх ( $u > 0$ ); породы, расположенные над коллектором ( $y < 2200$  м), – вниз ( $u < 0$ ). Величина опускания кровли песчаника превышает поднятие его почвы.

Значительное снижение давления газа при длительной эксплуатации месторождения обуславливает деформирование выше- и нижерасположенной породной толщи. Впоследствии перераспределение поля напряжений приводит к проседанию породного массива над пластом-коллектором (рис. 4).

#### Выводы

Предложена гипотеза формирования вторичной трещинно-пористой структуры в породах на эксплуатируемых газовых и газоконденсатных месторождениях. Выполнено численное моделирование изменения геомеханических и фильтрационных параметров для тестовой модели газового месторождения и получены распределения значений напряжений, деформаций, давления газа в коллекторе на разных



**Рис. 4. Максимальное проседание земной поверхности во времени.**

**Сурет 4. Уақыт өте келе жер бетінің максималды шоғыі.**

**Figure 4. Maximum subsidence of the earth's surface in time.**

временных итерациях. Показано, что значительное снижение давления газа при длительной эксплуатации месторождения обуславливает деформирование выше- и нижерасположенной породной толщи. Если поблизости от истощенного пласта находится низкопористый коллектор, происходит его разуплотнение, что способствует перераспределению газа и формированию в нем техногенного коллектора. В этом случае, низкопроницаемые, слабогазоносные пласты начинают отдавать газ, способствуя дренированию все большего количества участков на месторождении.

На начальном этапе эксплуатации месторождения геологические критерии играют определяющую роль в вопросах проницаемости и газоотдачи газового коллектора, а в процессе эксплуатации месторождения, особенно на ее завершающей стадии, к геологическим критериям добавляются геомеханические, которые оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на процесс добычи газа.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Гладышев С.В., Попов С.Н. Геомеханические и геодинамические проблемы, сопровождающие разработку месторождений углеводородов. // Записки Горного института. – Санкт-Петербург, 2010. – Том 188. – С. 153-157. (на русском языке)
2. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря. – М.: Вестник МГТУ, 2009. – Том 12. – №4. – С. 601-608. (на русском языке)
3. Куускраа В.А. Снижение эмиссии метана на угольных шахтах: бассейны Ворриер и Кузнецкий. // Сб. докладов II Международной конференции «Сокращение эмиссии метана». – Новосибирск: СО РАН, 2000. – С. 451-459. (на русском языке)
4. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. Интенсификация газоотдачи угольных пластов на основе регулирования их напряженно-деформированного состояния. // Уголь. – 2006. – №2. – С. 64-66. (на русском языке)
5. Krukovskiy O., Krukovska V. Численное моделирование напряженного состояния слоистого газоносного массива в почве горной выработки. // E3S Web-конференции:

*Очерки горной науки и практики. – 2019. – Вып. 109. – С. 00043. (на английском языке) doi.org/10.1051/e3sconf/201910900043*

6. Круковская В.В. Моделирование связанных процессов, происходящих в углепородном массиве при ведении горных работ. // *Геотехническая механика. – 2015. – №121. – С. 48-99. (на русском языке)*

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Гладышев С.В., Попов С.Н. Көмірсутектер кен орындарын игерумен қатар жүретін геомеханикалық және геодинамикалық мәселелер. // *Тау-кен институтының жазбалары. – Санкт-Петербург, 2010. – Т. 188. – Б. 153-157. (орыс тілінде)*
2. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А. Баренц теңізі қайраңының мұнай-газ кен орындарын игерудегі техногендік геодинамикалық процестер. – М.: ММТУ хабаршысы, 2009. – Т. 12. – №4. – Б. 601-608. (орыс тілінде)
3. Куускраа В.А. Көмір шахталарында метан эмиссиясының төмендеуі: Ворриер және Кузнецкий бассейндері. // «Метан эмиссиясын қысқарту» II Халықаралық конференцияның баяндамалар жинағы». – Новосибирск: Ресей ғылым академиясының баспасы, 2000. – Б. 451-459. (орыс тілінде)
4. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. Олардың кернеулі-деформацияланған күйін реттеу негізінде көмір қабаттарының газ беруін қарқындату // *Көмір. – 2006. – №2. – Б. 64-66. (орыс тілінде)*
5. Krukovskiy O., Krukovska V. Тау-кен қазбасындағы қабатты газды жыныстардың кернеулі күйін сандық модельдеу. // *E3S Web-конференциялары: Тау-кен ғылымы мен тәжірибесінің очерктері. – 2019. – Шығ. 109. – Б.00043. (ағылшын тілінде) doi.org/10.1051/e3sconf/201910900043*
6. Круковская В.В. Тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде тау-кен массивінде болатын байланысты процестерді модельдеу. // *Геотехникалық механика. – 2015. – №121. – Б. 48-99. (орыс тілінде)*

#### REFERENCES

1. Kashnikov Yu.A., Ashikhmin S.G., Gladyshev S.V., Popov S.N. Geomexanicheskie i geodinamicheskie problemy, soprovozhdayushhie razrabotku mestorozhdenij uglevodorodov [Geomechanical and geodynamic problems accompanying the development of hydrocarbon deposits]. – Sankt-Peterburg: Zapiski Gornogo instituta = Notes of the Mining Institute. – 2010. – Vol. 188. – P. 153-157. (in Russian)
2. Mel'nikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. Texnogennye geodinamicheskie processy pri osvoenii neftegazovykh mestorozhdenij shel'fa Barenceva morya [Technogennye geodinamicheskie processy pri osvoenii neftegazovykh mestorozhdenij Shel'fa Barenceva morya]. – Moscow: Vestnik MGTU = Bulletin of the Moscow State Technical University, 2009. – Vol. 12. – №4. – P. 601-608. (in Russian)
3. Kuuskraa V.A. Snizhenie e'missii metana na ugol'nyx shaxtax: bassejny Vorrier i Kuzneckij [Reducing methane emissions at coal mines: the Warrior and Kuznetsky basins]. // *Sbornik dokladov II Mezhdunarodnoj konferencii «Sokrashhenie e'missii metana» = Collection of reports of the II International Conference «Reducing methane emissions».* – Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. – P. 451-459. (in Russian)
4. Trubetskoi K.N., Gur'yanov V.V. Intensifikaciya gazooldachi ugol'nyx plastov na osnove regulirovaniya ix napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya [Intensification of gas recovery of coal seams on the basis of regulation of their stress-strain state]. // *Ugol' = Coal. – 2006. – №2. – P. 64-66. (in Russian)*
5. Krukovskiy O., Krukovska V. Numerical simulation of the stress state of the layered gas-bearing rocks in the bottom of mine working. *E3S Web of Conferences: Essays of Mining Science and Practice. – 2019. – Vol. 109. – P. 00043. (in English) doi.org/10.1051/e3sconf/201910900043*
6. Krukovskaya V.V. Modelirovanie svyazannyx processov, proisxodyashhix v ugleporodnom massive pri vedenii gornyx rabot [Simulation of coupled processes that occur in coal-rock massif during mining operations]. // *Geotexnicheskaya mexanika = Geotechnical mechanics. – 2015. – №121. – P. 48-99. (in Russian)*

## Сведения об авторах:

**Булат А.Ф.**, д-р техн. наук, профессор, академик Национальной академии наук Украины, директор Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина), [igtmnani@ukr.net](mailto:igtmnani@ukr.net); ORCID 0000-0002-6541-2140

**Круковский А.П.**, д-р техн. наук, член-корреспондент Национальной академии наук Украины, заместитель директора Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина), [igtm@ukr.net](mailto:igtm@ukr.net); ORCID 0000-0002-2659-5095

**Безручко К.А.**, д-р геол.-минерал. наук, заведующий отделом геологии угольных месторождений больших глубин Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина), [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua), ORCID 0000-0002-3818-5624

**Круковская В.В.**, д-р техн. наук, старший научный сотрудник отдела управления динамическими проявлениями горного давления Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (г. Днепр, Украина), [igtm@ukr.net](mailto:igtm@ukr.net); ORCID 0000-0002-7817-4022

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Булат А.Ф.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Украина Ұлттық Ғылым академиясының Н.С. Поляков атындағы геотехникалық механика институтының директоры (Днепр қ., Украина)

**Круковский А.П.**, техника ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясы корреспондент-мүшесі, Украина Ұлттық Ғылым академиясының Н.С. Поляков атындағы геотехникалық механика институтының директорының орынбасары (Днепр қ., Украина)

**Безручко К.А.**, геология-минералогия ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының Н.С. Поляков атындағы геотехникалық механика институтының үлкен тереңдіктегі көмір қабаттарының геологиясы бөлімінің менеджерісі (Днепр қ., Украина)

**Круковская В.В.**, техника ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының Н.С. Поляков атындағы геотехникалық механика институты тау жыныстарындағы қысым динамикасын басқару кафедрасының аға ғылыми қызметкері (Днепр қ., Украина)

## Information about the authors:

**Anatoliy F. Bulat**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Director of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

**Alexandr P. Krukovskiy**, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Deputy Director of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

**Kostyantyn A. Bezruchko**, Doctor of Geological Sciences, Chief at the Department of Geology of Coal Beds at Great Depths of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

**Viktoriia V. Krukovskaya**, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Pressure Dynamics Control in Rocks of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine)



Зиракс - производство, маркетинг и продажа специализированных химических продуктов и решений на их основе

## ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- профилактические антисмерзающие и пылеподавляющие обработки жд полувагонов и угля в массу;
- пылеподавление и стабилизация грунта на технологических дорогах разрезов и карьеров;
- пылеподавление в рабочих зонах при добыче и перевалке горнорудных материалов;
- обеспыливание пылящих материалов при транспортировке;
- предотвращение самопроизвольного возгорания угля в хранилищах и взрыва угольной пыли.

Есорелл™ - многокомпонентная смесь солей с добавлением специализированных функциональных добавок – ингибитора коррозии и ПАВ

### Борьба со смерзанием

- защита сыпучих материалов от выветривания при транспортировке;
- уменьшение потерь сыпучих материалов при выгрузке;
- сокращение простоев подвижного состава;
- уменьшение затрат на хранение и перевалку;
- эффективная работа Есорелл™ до **-51°C!**

### Пылеподавление на карьерах, местах проведения работ, дорогах общего пользования и при перевалке

- улучшение видимости на дороге;
- снижение затрат на ремонт и содержание техники;
- сокращение расходов на ремонт дорожного полотна;
- уменьшение потерь строительного грунта;
- благоприятные условия труда.

Новый продукт  
**Есорелл™**



ООО «Зиракс»  
тел. +7(8442) 49 49 99  
e-mail: [sales@zirax.com](mailto:sales@zirax.com)  
[www.zirax.ru](http://www.zirax.ru)



# VI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА MINING & MINERALS EXPO'2021

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ  
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**19–21 октября**



ОРГАНИЗАТОР:  
Международный выставочный центр

Технический партнер: *RentMedia*



МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
г. Киев, Броварской пр-т, 15  
станция метро "Левобережная"

тел./факс: (044) 201-11-67  
e-mail: [energoprom@iec-expo.com.ua](mailto:energoprom@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua), [www.мвц.укр](http://www.мвц.укр)

Код МРНТИ 52.13.07:52.39.29

V.V. Povetkin<sup>1</sup>, A.Z. Bukayeva<sup>2</sup>, A.Z. Nurmukhanova<sup>1</sup>, M.K. Tatybayev<sup>3</sup><sup>1</sup>Non-profit Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University» (Almaty, Kazakhstan),<sup>2</sup>Yessenov University (г. Актау, Казахстан),<sup>3</sup>Non-profit Joint-stock Company «Kazakh National Agrarian University» (Almaty, Kazakhstan)

## GASOLINE-AIR BURNERS IN THE PRODUCTION OF HARD ROCK BLOCKS

**Abstract.** The article describes the stages of development of thermal jet burners with intensifiers of combustion of fuel components. Studies have been carried out to obtain the phenomenon of detonation in the free jet of burners during the combustion of fuel components. The design features of the development of gasoline-air thermal tools, which allow intensifying the combustion processes of fuel components, are presented. Also, the thermal tools with supersonic flare for various technological operations, for rock destruction during slot excavations are considered. Experiments have shown that with the increase in the number of ejection windows, the size of the flare and the power of shock waves increase. To determine the heat transfer parameters of supersonic high-temperature gas jets, a special burner with the possibility of using gasoline, diesel fuel and propane gas as combustible was developed. Gasoline-air burners make it possible to use detonation combustion in them to increase the productivity of thermal destruction of rocks, to automate the start-up of the burners in operation.

**Key words:** rock, gasoline-air burners, kerosene-oxygen burners, thermal tools, fuel components, gasoline, kerosene, air, destruction of rocks, detonation combustion.

### Қатты жыныстар блоктарын өндіру кезіндегі бензин-ауа жанарғылары

**Аннотация.** Мақалада отын компоненттерінің жану үдеткіштері бар жылу ағынының қыздырғыштарының даму кезеңдері сипатталған. Отын компоненттерін жағу кезінде оттықтардың бос ағынында детонация құбылысын алу үшін зерттеулер жүргізілді. Жанармай компоненттерінің жану процесстерін күшейтуге мүмкіндік беретін бензин-ауа жылу құралдарын зерттеудің құрылымдық ерекшеліктері келтірілген. Сондай-ақ, әртүрлі технологиялық операцияларға арналған дыбыстан жоғары алауы бар, саңылаулы қазбаларды жүргізу кезінде тау жыныстарын бұзуға арналған термоқұралдар қарастырылған. Жүргізілген тәжірибелермен эжекциялық терезелер санының ұлғаюымен алау мөлшері мен соққы толқындарының қуаты артатыны анықталды. Дыбыстан жоғары температуралы газ ағындарының жылу беру параметрлерін анықтау үшін жанғыш бензин, дизель отыны және пропан газы ретінде пайдалану мүмкіндігі бар арнайы қыздырғыш жасалды. Бензин-ауа жанарғылары тау жыныстарының термиялық бұзылуының өнімділігін арттыру үшін оларда детонациялық жануды пайдалануға, жанарғылардың жұмысқа қосылуын автоматтандыруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** тау жынысы, бензин-ауа жанарғылары, керосин-оттегі жанарғылары, термоқұрал, отын компоненттері, бензин, керосин, ауа, детонациялық жану.

### Бензовоздушные горелки в производстве добычи блочного камня из крепких горных пород

**Аннотация.** В статье описаны этапы развития термоструйных горелок с интенсификаторами горения топливных компонентов. Проведены исследования для получения явления детонации в свободной струе горелок при сжигании топливных компонентов. Приведены конструктивные особенности разработок бензовоздушных термоинструментов, позволяющие интенсифицировать процессы горения топливных компонентов. Также, рассмотрены термоинструменты со сверхзвуковым факелом для различных технологических операций, для разрушения горных пород при проведении целевых работ. Проведенными экспериментами было установлено, что с увеличением количества эжекционных окон, увеличиваются размеры факела и мощность ударных волн. Для определения теплопередающих параметров сверхзвуковых высокотемпературных газовых струй была разработана специальная горелка с возможностью использования в качестве горючего бензина, дизельного топлива и газа пропана. Бензовоздушные горелки позволяют использовать в них детонационное горение для повышения производительности термического разрушения горных пород, автоматизировать запуск горелок в работу.

**Ключевые слова:** горная порода, бензовоздушные горелки, керосино-кислородные горелки, термоинструмент, топливные компоненты (бензин, керосин, воздух), детонационное горение.

### Introduction

Granite is one of the most valuable and sought-after rocks of hard rock construction, suitable for the production of bedstones and others in mechanical engineering. In particular, there are significant reserves of these rocks in Eastern, Central and Southern Kazakhstan<sup>1</sup> [1].

The traditional technology of granite mining provides for cutting and cutting trenches in rock massifs with the use of drilling and blasting processes. Brisant explosives (ammonite) are widely used in this process. During the explosions there are significant losses of stone due to cracking, leading to a violation of the strength and blockiness of the main massif. For the purpose of elimination of the disadvantages inherent in a boron blasting way of driving of cut and cut trenches, on a number of deposits of granite of Kazakhstan, Ukraine the technology of mining of blocks with the use of thermal cutting is applied. The flame-jet method is a promising alternative to the traditional technology.

When mining granite blocks the fire-jet method provides cutting and processing of rocks with satisfactory

damageability and with high speeds. Thus, the cutting capacity of oxygen-kerosene torches reaches 1,3 m<sup>2</sup> of cutting area per hour, and gas-air torches – 0,8 m<sup>2</sup>/h.

Cutting and cutting trenches in the massif are cut with two vertical slots to the depth of bedding (to the bottom of the ledge). Thermal cutters allow cutting slots up to 5 m deep and more, 0,15...0,20 m wide. Granite from the inter-slot space is extracted in the form of blocks by explosion of powder charges. Then its subsequent cutting into blanks is made.

The introduction of block extraction technology using thermal cutting at the leading stone-working enterprises of Ukraine and the Republic of Kazakhstan has shown that rocks of the majority of deposits are well broken by air gas-jet thermal tools with acceptable speed for practice. The average cutting capacity is 0,65 m<sup>2</sup> slot per hour.

Pilot cutting of rocks of the Maikulsky quarry of amazonite granites (Republic of Kazakhstan) by gas-air thermal cutters TRV-5 of KazPTI design provided<sup>2</sup> the cutting performance of one burner 0,5 m<sup>2</sup>/h [2].

<sup>1</sup>Povetkin V.V. Processes and technology ognestrela processing blocks of strong rocks. / Avtoref. ... Dr. techn. sciences: 05.15.11. – Almaty: KazNTU, 2001. – 42 p.

<sup>2</sup>Altynov J.L. Creation of a complex handling device for the manufacture of products made of strong rocks thermomechanical method. / Avtoref. ... Dr. techn. sciences: 05.05.06. – Almaty: KazNTU, 2009. – 42 p.

The main instrument for flame-jet fracturing can be considered a design based on the copyright certificate №160019 issued to A.V. Brichkin and A.N. Genbach in 1964, with the claims made as follows:

«A device for thermal cutting and treatment of rocks, including a reactive jet burner, as well as fuel and gas lines with control devices, differing in that, for the purpose of forming a pulsating directed flow of heated gas, which provides a smooth surface of a given shape when processing, for example, building stone, the jet burner of the device is provided with a Laval nozzle with a shortened diffuser part.»

Two types of thermal tools operating on combustion of hydrocarbon fuel in oxygen medium have found application in the stoneworking industry: kerosene-oxygen and gasoline-air tools.

Thermal cutters running on kerosene-oxygen mixture have the following indicators:

- processing capacity – 1...2 m<sup>2</sup>/h, with a thickness of the removed layer of 0,05...0,06 m or 100...150 kg/h of the beaten off material;
- drilling speed – 12...30 m/h at hole diameter 0,028...0,04 m depending on rock properties;
- oxygen consumption – 15...18 m<sup>3</sup>/h, kerosene – 8...9 l/h, cooling water – 160...200 l/h;
- pressure of the working components: oxygen – 0,12...0,15 MPa, kerosene – 0,12...0,15 MPa, water – 0,3...0,5 MPa.

#### Materials and Methods

Gas-air thermal tools are characterized by simplicity of construction and maintenance. Instead of complicated systems of fuel, oxidizer and cooling water supply, as it takes place when using kerosene-oxygen burners, an air compressor, fuel tank and thermal cutter are used [3]. Figure 1 shows the design of TRV-12M handheld thermal cutter, designed for surface treatment of granite workpieces.

Figures 2 and 3 show the basic diagrams of interaction of high-temperature and high-speed burner jets with rock during surface treatment and slot cutting.

A number of authors<sup>3,4</sup> solved the thermal problem, in which the basic parameters of the gas flow and the productivity of the rock being broken up are found.

According to the first scheme (figure 2) the process of rock destruction is carried out, when the spot of contact of the gas jet with the rock has a circular or elliptical shape.

And according to the second scheme (figure 3) rock destruction is carried out by parallel flowing of the gas stream, relative to the rock, with some deepening, possibly for the entire diameter of the jet.

The process of rock destruction is controlled visually, the operator has protective devices. Heat fluxes developed by kerosene-oxygen thermal tools reach  $10 \times 10^6$  W/m<sup>2</sup>, which is 2-3 times higher than those of gas-air tools with (1,5...4,0)  $10^6$  W/m<sup>2</sup>, their failure rate is also higher [2]. It is established [3] that the performance of flame-jet

fracturing is proportional to the heat flux power going into the rock, the heat power in turn depends on the temperature of the gas jet, its speed and the geometric dimensions of the contact spot. These parameters of the gas jet depend on the amount of fuel and oxidizer reacting in the combustion chamber per unit time. The factors listed above are regime parameters of thermal tools. Studying their influence on the performance of flame fracture is necessary for designing target burners.

The efficiency of the burner operation depends to a large extent on the organization of the process of mixture formation of fuel components in the combustion chamber. The mixture formation process depends on feeding the components into the combustion chamber through

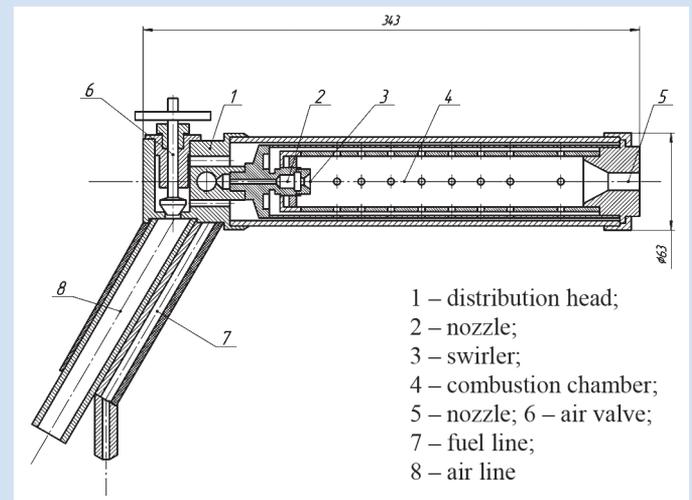


Figure 1. TRV-12M thermal cutter.  
Сурет 1. Жылу кескіш ТРВ-12М.  
Рис. 1. Терморезак ТРВ-12М.

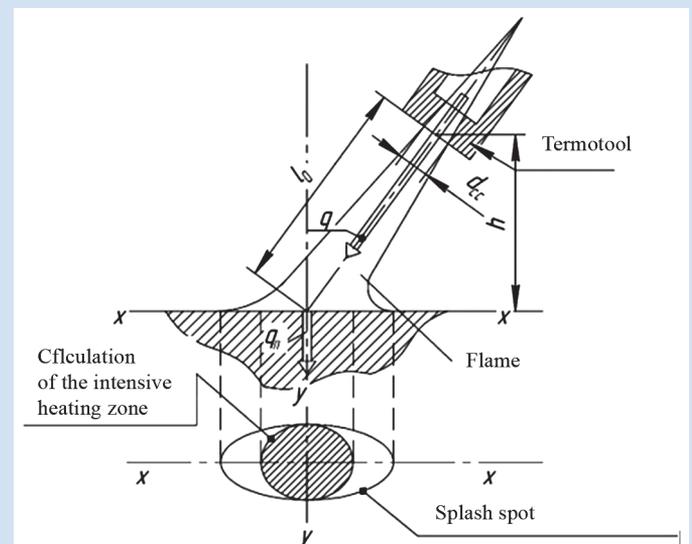
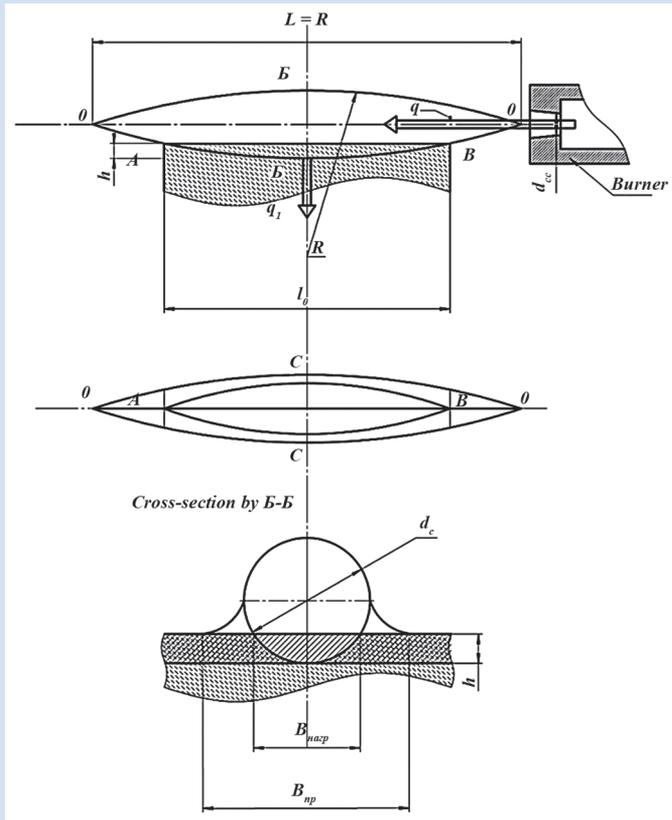


Figure 2. Interaction of the gas jet with the rock.  
Сурет 2. Газ ағынының тау жыныспен әрекеттесуі.  
Рис. 2. Взаимодействие газовой струи с породой.

<sup>3</sup>Dobrovolskiy M.V. *Liquid-propellant rocket engines*. – Moscow: Machine building, 2016. – 461 p.

<sup>4</sup>Aubakirov M.G., Bobovich V.S., Povetkin V.V., Seitbatalov S.M., Fedorov B.V. *A device for the thermal destruction of mineral media by jets of hot gas*. / Author's certificate №575418 USSR. – Published in Bulletin №37, 1977.



**Figure 3. Interaction of the parallel gas jet with the rock.**

**Сурет 3. Параллель газ ағының тау жыныспен әрекеттесуі.**

**Рис. 3. Взаимодействие параллельной газовой струи с породой.**

nozzles and their mixing. The main indicators that characterize the quality of fuel atomization are the fineness and homogeneity, as well as the jet angle<sup>3</sup>. The fineness and homogeneity of spraying depends on the nozzle design and the pressure drop at its cutoff.

All burner designs use the centrifugal nozzle type with an artificial swirl of the fuel fed through it. In centrifugal atomization the range is small, and this determines the size of the atomization zone in the chamber and, consequently, the size of the combustion chamber.

The combustion chamber is the main organ of the thermal instrument. To calculate the combustion chamber, it is necessary to determine its volume and geometric

dimensions. The volume of the combustion chamber  $V_K$  is assumed to be the volume of the chamber up to the critical cross section. To determine the required volume  $V_K$  one of the following parameters is used.

1. Conditional residence time of combustion products in the chamber  $\tau_{cond}$ :

$$\tau_{cond} = V_K / (G \times v_K), \text{ s}, \quad (1)$$

where  $V_K$  – combustion chamber volume,  $\text{m}^3$ ;

$G$  – fuel flow rate,  $\text{g/s}$ ;

$v_K$  – average specific volume of fuel and combustion products,  $\text{m}^3/\text{kg}$ .

2. Presented length of the combustion chamber:

$$l_{np} = v_K / f_{kp}, \text{ m} \quad (2)$$

where  $f_{kp}$  – the nozzle area in the critical section of the chamber.

$$f_{kp} = (G \times \beta) / P_z, \text{ m}^2 \quad (3)$$

where  $\beta$  – the specific pressure impulse in the chamber,  $\text{m/s}$ ;

$P_z$  – pressure of gases inside the combustion chamber,  $\text{Pa}$ .

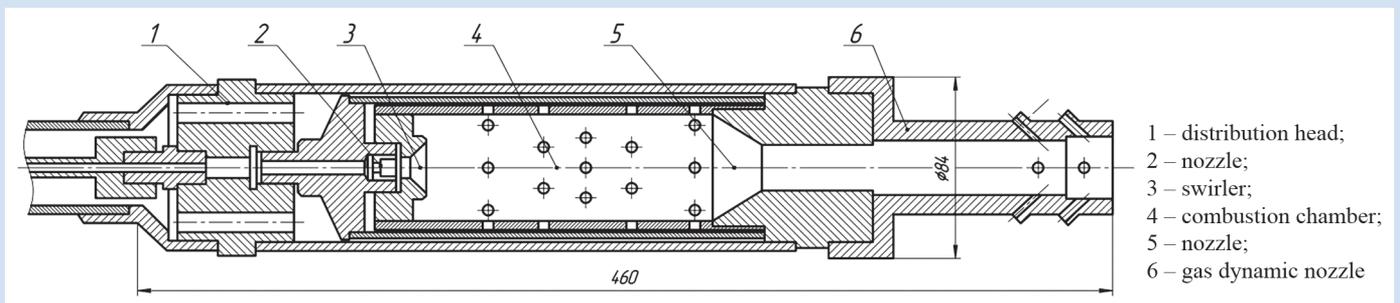
When designing a combustion chamber, use the ratio  $f_k / f_{kp} = 6 \dots 20$ .

An improved version of the TRV-60 thermal cutter used for cutting slotted mine workings is the BVR-80 design, shown in figure 4. A distinctive feature of this tool is a special thermodynamic nozzle 2 for ejection of atmospheric air into shock waves – «jumps» of compaction and afterburning of unburned fuel in them in the enriched jet of burner flame outside the critical section of the nozzle.

«Jumping» seals are formed due to the relief of the inner surface of the nozzle, formed by the annular drilled holes through which the ejected air is sucked into the main jet of the burner. In this design, the main thermal cutter with combustion chamber and nozzle serves as the main tool for creating a shock pulse in the ejection nozzle in the area of perforations.

The main requirement for thermal cutters for mechanized processing operating on heavy fuels (diesel oil) is a significant increase in thermodynamic parameters - temperature and speed of the gas jet while maintaining the overall dimensions.

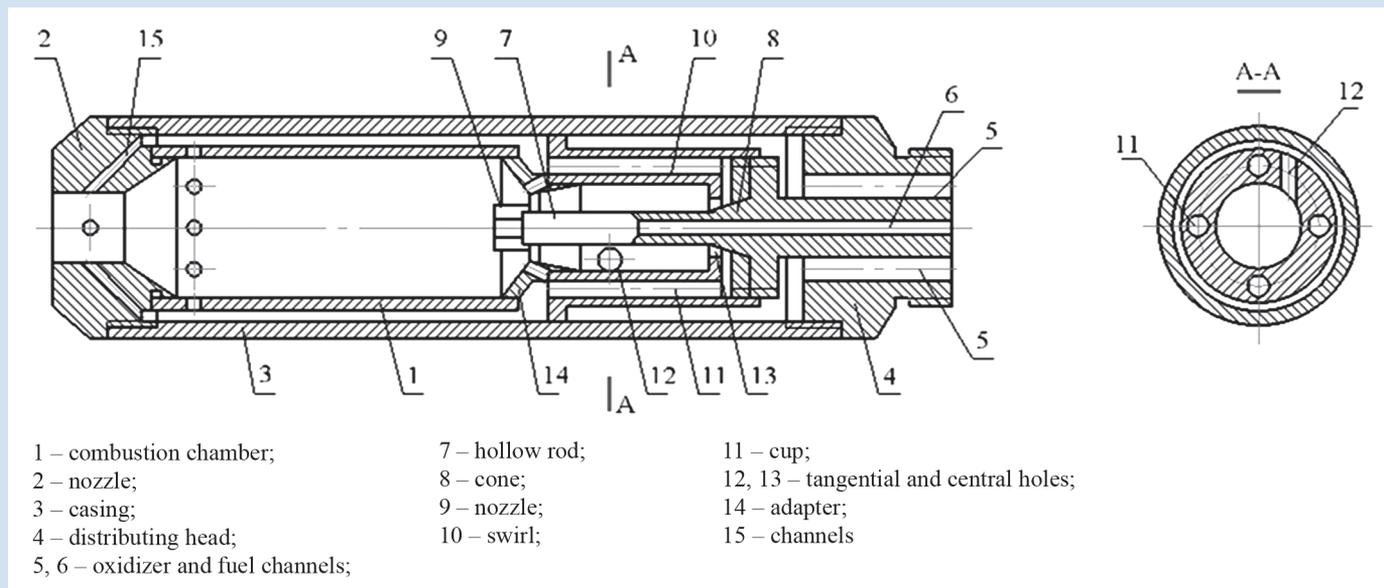
The use of gas-air burners as working bodies of mechanized thermal units is restrained by a relatively low power, with the increase of which their overall dimensions rapidly increase, as well as by the small dimensions of the burner flame (0,1...0,15 m) when using the burner flame treatment scheme along its entire length – «strip source». According to this scheme of processing the gas jet of burner is directed parallel to the processed surface and deepened



**Figure 4. Thermal cutter BVR80.**

**Сурет 4. Жылу кескіш БВР80.**

**Рис. 4. Терморезак БВР80.**



**Figure 5. Rock destruction device.**

**Сурет 5. Тау жыныстарын бұзуға арналған құрылғы.**

**Рис. 5. Устройство для разрушения горных пород.**

inside the rock on 0,3...0,5 diameter of the burner nozzle.

However, due to the simplicity of operation and organization of feeding gasoline-air burners with fuel components, their use as working bodies of mechanized plants is relevant. Increasing the capacity of gasoline-air burners without significant development of their overall dimensions and increasing the size of the burner flame is possible due to intensification of combustion processes.

One of the means of intensification of free jets combustion beyond the nozzle cutoff is afterburning of products of incomplete combustion of fuel-enriched mixture by atmospheric air ejection. When using heavy fuel mixtures in the burners, it is also necessary to improve the burner ignition method.

The next stage, the study of the intensification of combustion of free jets was carried out using a burner developed with the participation of the authors of the invention<sup>4</sup> (figure 5).

The device is designed for destruction of rocks. It implements two effects: separation of the oxidizer – air into two flows – the hot air goes to the combustion chamber and participates in the combustion process; the other flow is cold – goes to cool the combustion chamber and through the perforation enters the chamber, participating in combustion, as well as through channels in the nozzle – to the subcritical part of the nozzle. This feature of supplying the oxidizer to the noncritical part of the nozzle causes perturbations in the gas flow – shock waves, thereby intensifying the process of afterburning the fuel mixture.

Another design of fire-jet burner, which increases the thermodynamic parameters of the jet by heating the fuel to gaseous state and supplying it into the combustion chamber, is the design of burner, made according to the invention<sup>5</sup> (figure 6). This burner design made it possible to increase the thermal and mechanical parameters of the burner jet by organizing combustion of gaseous fuel preheated to the evaporation temperature. Testing of the burner showed the possibility of organizing such a combustion process. Preliminary tests of the burner on gaseous fuel mixtures (propane+oxygen (air)) indicate the expediency of their use if the necessary sources of their production are available. An important element of creation of thermal tools operating on heavy fuel components is their start-up. Their stable start-up is possible only when there is a combined system of supplying fuel components into the combustion chamber. First, the flammable mixture is fed and ignited, then the channels of flammable fuel (gasoline) are closed and the channels of heavy fuel are opened.

The purpose of the invention is to increase the reliability of burner start-up with less energy consumption for fuel preheating. This is achieved as a result of the fact that the coiled part of the fuel line is adjacent to the outer side of the nozzle cover and to the surface of the nozzle.

The device for automatic fuel switching from the starter to the main view is the device<sup>6</sup> shown in figure 7.

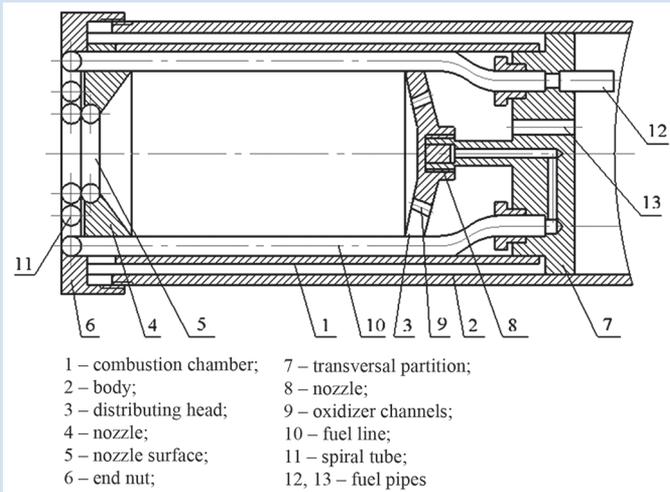
The developed thermal cutter designs<sup>4-8</sup> solved a number of technological problems: they increased the productivity of rock destruction and automated startup of burners,

<sup>5</sup>Arkhipkin V.I., Povetkin V.V., Seitov A.S., Spasenov M.I., Shaparev S.V. Flame-jet torch for thermal destruction of mineral media. / Author's certificate №724720 USSR. – Published in Bulletin №12, 1980.

<sup>6</sup>Povetkin V.V., Seitbatalov S.M., Tleuov M.G. The device for thermal destruction of hard rocks. / The author's certificate №1209855 of the USSR. – Published in the Bulletin №5, 1986.

<sup>7</sup>Tleuov M.G., Povetkin V.V. The device for thermal destruction of rocks. / Author's certificate №1221346 of th USSR. – Published in the Bulletin №12, 1986.

<sup>8</sup>Moskalev A.N., Povetkin V.V. and others. The device for thermal destruction of rocks. / Author's certificate №1383875 of th USSR. – Published in Bulletin №19, 1988.



**Figure 6. Device for breaking rocks.**

**Сурет 6. Тау жыныстарын бұзуға арналған құрылғы.**

**Рис. 6. Устройство для разрушения горных пород.**

which is essential for developing the working bodies of mechanical thermal units.

In the supersonic flow, flowing from the Laval nozzle of the burner into a cylindrical perforated excitation chamber (nozzle), due to friction against its relief walls and contact with cold intake atmospheric air, a powerful stationary compaction jump (shock wave) is formed. This wave is constantly fed by the oxidizer ejected through the perforation from atmospheric air, which provides intensive (detonation) high-performance combustion<sup>7, 8</sup>.

Fuel enrichment of the supersonic jet is carried out through the burner nozzle device within 15...20% of the main flow rate when the burner operates without nozzle.

The gas flow of the burner heats the excess fuel (up to 1500...1800°C). The fuel, reacting with the oxidizer entering through the perforation of the nozzle from the atmospheric air, and due to supersonic chemical reactions and instantaneous heat release in the sealing jump, is accelerated again in the cylindrical nozzle to supersonic speed. This generates a powerful flow of incandescent gases of increased intensity, velocity and mass flow rate.

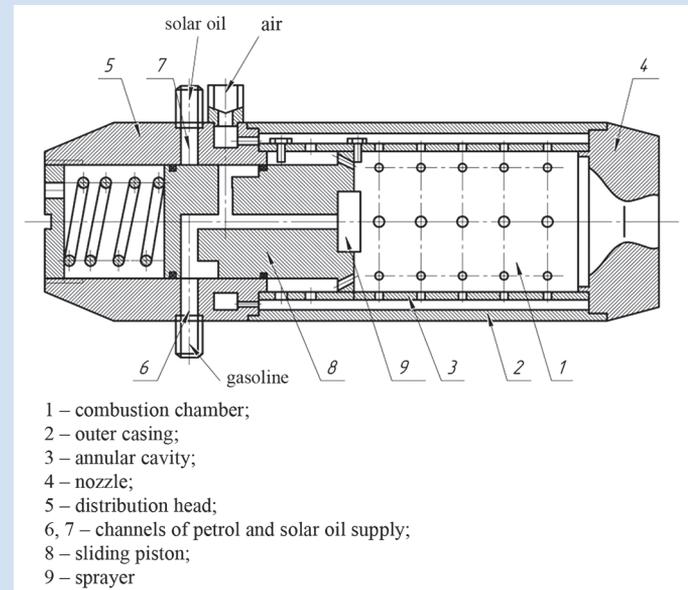
### Results

As a result of these tests, the optimal angle of inclination of the nozzle ejection windows, which is 400...500 to its axis, and the total area of the windows is effective within 50...60% of the area of the critical cross section of the Laval nozzle of the burner was established. The length of the cylindrical nozzle up to the ejection windows is equal to 1,2...1,5 of its inner diameter that is 1,5...2,0 times larger than the critical sectional area of the Laval nozzle. In the described device, when the supersonic jet interacts with the cold ejected air and due to friction of the jet against the roughness of the inner wall of the cylindrical nozzle 4 at the entry point of the windows 5, a powerful stationary compaction jump (shock wave) is excited, into which the ejected air enters to react with the fuel. This achieves rapid (detonation) combustion and complete afterburning of the mixture.

Afterburning the combustible in a powerful compaction jump at the beginning of the main jet section and reaccelerating the jet in the cylindrical nozzle allows increasing the jet power its geometric dimensions as compared with existing ones, while significantly increasing the productivity and efficiency of rock destruction.

This significant effect is obtained without additional air consumption from the compressor. At the same time the productivity is increased by 1,5 times while the fuel consumption is increased by only 20%. This provides an economic effect of about 30% compared with the use of a burner without a nozzle [4].

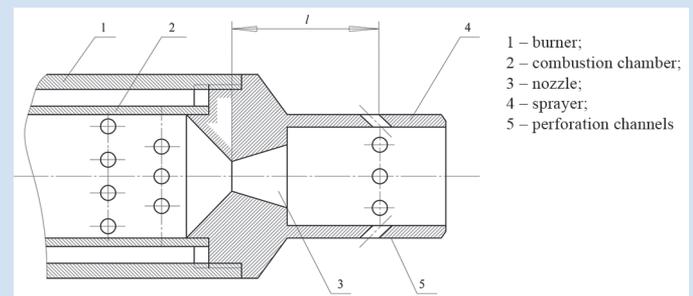
To determine the heat transfer parameters of supersonic high-temperature gas jets, a special burner was developed with the possibility of using gasoline, diesel fuel and propane gas as a combustible. Figure 9 shows a fragment of burner operation with a gas-dynamic nozzle when destroying a block of rock, when carrying out a slotted excavation.



**Figure 7. Device for fire-jet destruction of rocks.**

**Сурет 7. Тау жыныстарын отқа төзімді бұзуға арналған құрылғы.**

**Рис. 7. Устройство для огнеструйного разрушения горных пород.**



**Figure 8. Device for thermodetonation fracture.**

**Сурет 8. Термодетонациялық бұзылуға арналған құрылғы.**

**Рис. 8. Устройство для термодетонационного разрушения.**



**Figure 9. Operating process of the TRB-12 M1 thermal cutter with a nozzle.**

**Сурет 9. ТРВ-12 М1 терморезагының саптамамен жұмыс істеу процесі.**

**Рис. 9. Процесс работы терморезака ТРВ-12 М1 с насадкой.**

#### Discussion

Research on intensification of combustion shows that the detonation combustion phenomenon is promising for thermal destruction of rocks.

A qualitative assessment of detonation combustion was performed on a gas-air burner with a combustion

intensifier in the form of a cylindrical nozzle on part of the burner jet with air injection through the perforation of the nozzle at some distance from the nozzle cutoff. In the device, the detonation effect is achieved by excitation of a stationary densification jump (shock wave) at the beginning of the main section of the supersonic, combustible-enriched gas jet of the burner. This is achieved by friction of the working body jet against the relief of the inner surface of the nozzle and contact with the cold ejected air and introduction of an oxidizer for intensive (detonation) combustion of the missing ejected, combustible-enriched jet through the perforation channels of the nozzle.

#### Conclusion

Preliminary experiments have revealed that as the number of ejection windows increases, the size of the flare and the power of shock waves increase.

At present, there is a technical possibility to use thermal tools with supersonic flame for various technological operations, for destruction of rocks during slotting excavations.

Studies have shown that gasoline-air burners, with a combustion intensifier, allow using detonation combustion in them to increase the productivity of thermal destruction of rocks, to automate the start-up of the burners in operation.

#### REFERENCES

1. Povetkin V.V., Nurymov E.K., Bukayeva A.Z., Sermenov A.I. *Sovershenstvovanie ognestrujnogo sposoba rezki gornyx porod pri dobyche blochnogo kamnya iz granitov. [Improvement onestring the way of cutting of rocks in the extraction of block stone, of granite]. // Poisk = Search. – Almaty, 2017. – №1(1). – P. 176-182. (in Russian)*
2. Povetkin V.V., Khandozhko A.V., Bukayeva A.Z., Nurymov Y.K. *Theoretical basics of flame-jet rock destruction. // Vestnik KazNRTU No. №2(120), Almaty 2017. – P. 109-115. (in English)*
3. Germanovich, L.N., Dyskin, A.V. *Model' razrusheniya xrupkogo materiala s treshhinami pri odnoosnom nagruzhении [Model of fracture of brittle material with cracks under uniaxial loading]. // Izvestiya AN SSSR. Mexanika tverdogo tela = Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Solid state mechanics. – 1988. – №2. – P. 118-131. (in Russian)*
4. Povetkin V.V., Khandozhko A.V., Bukayeva A.Z. *Ispol'zovanie benzovozdushnyx gorelok dlya dobychi i obrabotki blochnogo kamnya [The use of gas-air burners for mining and processing of block stone]. // Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii = Science-intensive Technologies in Mechanical Engineering. – Bryansk, 2017. – №12(78). – P. 8-14. (in Russian)*

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Поветкин В.В., Нурымов Е.К., Букаева А.З., Серменов А.И. *Граниттерден блок тасын алу кезінде тау жыныстарын кесудің отқа төзімді әдісін жетілдіру. // Іздеу. – Алматы, 2017. – №1(1). – Б. 176-182. (орыс тілінде)*
2. Povetkin V.V., Khandozhko A.V., Bukayeva A.Z., Nurymov Y.K. *Тау жыныстарының жалынды-ағынды бұзылуының теориялық негіздері. // ҚазҰТЗУ хабаршысы. – Алматы, 2017. – №2(120). – Б. 109-115. (ағылшын тілінде)*
3. Германович Л.Н., Дыскин А.В. *Бір осьті жүктеме кезінде жарықтары бар сыңғыш материалды жою моделі. // КСРО Ғылым Академиясының жаңалықтары. Қатты дене механикасы. – 1988. – №2. – Б. 118-131. (орыс тілінде)*
4. Поветкин В.В., Хандожко Ф.В., Букаева Ф.З. *Блок тасын өндіру және өңдеу үшін бензин-ауа жанарғыларын пайдалану. // Машина жасаудағы ғылымды қажетсінетін технологиялар. – 2017. – №12(78). – Б. 8-14. (орыс тілінде)*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Поветкин В.В., Нурымов Е.К., Букаева А.З., Серменов А.И. *Совершенствование огнеструйного способа резки горных пород при добыче блочного камня из гранитов. // Поиск. – Алматы, 2017. – №1(1). – С. 176-182. (на русском языке)*

2. *Povetkin V.V., Khandozhko A.V., Bukayeva A.Z., Nurymov Y.K. Теоретические основы пламенно-струйного разрушения горных пород. // Вестник КазНУ. – Алматы, 2017. – №2(120). – С. 109-115. (на английском языке)*
3. *Германович Л.Н., Дыскин А.В. Модель разрушения хрупкого материала с трещинами при одноосном нагружении. // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1988. – №2. – С. 118-131. (на русском языке)*
4. *Поветкин В.В., Хандожко А.В., Букаева А.З. Использование бензовоздушных горелок для добычи и обработки блочного камня // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – №12(78). – С. 8-14. (на русском языке)*

#### Information about the authors:

**Vitaly V. Povetkin**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Thermal Physics and Technical Physics of the Non-profit Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University» (Almaty, Kazakhstan), [vv1940\\_povetkin@mail.com](mailto:vv1940_povetkin@mail.com); **ORCID** 0000-0002-3872-3488

**Amina Z. Bukayeva**, PhD, Senior Lecturer at the Department of Mechanical Engineering of the Yessenov University (Aktau, Kazakhstan), [amina\\_bukaeva@mail.ru](mailto:amina_bukaeva@mail.ru); **ORCID** 0000-0003-0956-1552

**Alfiya Z. Nurmukhanova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Thermal Physics and Technical Physics of the Non-profit Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University» (Almaty, Kazakhstan), [alfiya.nurmukhanova@gmail.com](mailto:alfiya.nurmukhanova@gmail.com); **ORCID** 0000-0002-0289-3610

**Mukhtarbek K. Tatybayev**, PhD, Associate Professor at the Department «Technology and food safety» of the Non-profit Joint-Stock Company «Kazakh National Agrarian University» (Almaty, Kazakhstan), [mukhtar\\_t.k@mail.ru](mailto:mukhtar_t.k@mail.ru); **ORCID** 0000-0001-9980-1040

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Поветкин В.В.**, техника ғылымдарының докторы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Жылу физикасы және техникалық физика» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Букаева А.З.**, PhD, Yessenov University «Машина жасау» кафедрасының аға оқытушысы (Ақтау қ., Қазақстан)

**Нурмуханова А.З.**, техника ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Жылу физикасы және техникалық физика» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

**Татыбаев М.К.**, PhD, Қазақ ұлттық аграрлық университеті, «Тағам өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Поветкин В.В.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплофизика и техническая физика» Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

**Букаева А.З.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Машиностроение» Yessenov University (г. Актау, Казахстан)

**Нурмуханова А.З.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплофизика и техническая физика» Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

**Татыбаев М.К.**, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов» Казахского национального аграрного университета (г. Алматы, Казахстан)



## Иновационные решения и доказанная эффективность

ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными мощностями, которые помогут вам внедрить эффективные технологии дробления и измельчения, увеличить производительность и повысить коэффициент использования оборудования.

### Изнашиваемые детали для мельниц

Передовые решения конструкций футеровки для мельниц посусамозмельчения, самоизмельчения, шаровых и стержневых

- Стальные
- Резиновые
- Композитные

### Мелющие тела

Кованые мелющие тела высочайшего качества для всех видов мельниц

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

### Износостойкие брони для дробилок

Изнашиваемые детали для первичного, вторичного и третичного дробления

- Гиравационные дробилки
- Щековые дробилки
- Конусные дробилки



Office: +1-763-201-1879  
 Mobile: +1-778-875-7525  
 Email: [russia@meglobal.com](mailto:russia@meglobal.com)  
[www.me-elecmetal.com/ru](http://www.me-elecmetal.com/ru)

Код МРНТИ 52.45.17

А.С. Корабаев<sup>1</sup>, Ш.А. Телков<sup>1</sup>, А.А. Амирхан<sup>2</sup><sup>1</sup>Satpayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ОБОГАТИМОСТИ ЗАБАЛАНСОВОЙ СВИНЦОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОДНИКОВОЕ

**Аннотация.** Статья посвящена определению возможности получения свинцовых концентратов из забалансовой руды месторождения Родниковое с использованием гравитационных процессов обогащения. Представленные результаты гранулометрического состава показали, что основная часть свинцовых минералов концентрируется в крупных классах. Результаты фракционного анализа показывают целесообразность использования гравитационных процессов обогащения для получения кондиционного свинцового концентрата. Разработка оптимальной технологии переработки руды месторождения Родниковое является актуальной, а использование гравитационных процессов переработки позволит получать качественные концентраты с невысокой себестоимостью по экологически безопасной технологии.

**Ключевые слова:** руда, обогащение, свинец, гранулометрический состав, фракционный анализ, обогатимость, концентрат, хвосты.

### Родниковое кен орнының баланстан тыс қорғасын кенінің гравитациялық байытылуын зерттеу

**Андатпа.** Мақала гравитациялық байыту процестерін пайдалана отырып Родниковое кен орнының баланстан тыс кенінен қорғасын концентраттарын алу мүмкіндігін анықтауға арналған. Гранулометриялық құрамның нәтижелері қорғасын минералдарының негізгі бөлігі ірі ірілік кластарында шоғырланатынын көрсетті. Фракциялық талдау нәтижелері кондициялық қорғасын концентратын алу үшін гравитациялық байыту процестерін пайдаланудың орындылығын көрсетеді. Родниковое кен орнының кенді өңдеудің оңтайлы технологиясын әзірлеу өзекті болып табылады, ал өңдеудің гравитациялық процестерін пайдалануы экологиялық қауіпсіз технологиясы мен өзіндік құны төмен сапалы концентраттар алуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** кен, байыту, қорғасын, гранулометриялық құрам, фракциялық талдау, байытылғыштық, концентрат, қалдық.

### Research of gravitational enrichability of off-balance sheet lead ore of Rodnikovoye deposit

**Abstract.** The article is devoted to the determination of the possibility of obtaining lead concentrates from the off-balance ore of the Rodnikovoye deposit using gravity enrichment processes. The presented results of the granulometric composition showed that the main part of the lead minerals is concentrated in large size classes. The results of the fractional analysis show the feasibility of using gravity enrichment processes to obtain a conditioned c-screw concentrate. The development of an optimal technology for processing ore from the Rodnikovoye deposit is relevant, and the use of gravity processing processes will allow us to obtain high-quality concentrates with a low cost and environmentally safe technology.

**Key words:** ore, enrichments, sheet lead, particle size distribution, fractional analysis, dressability, concentrate, tailings.

### Введение

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды все в большей степени зависят от состояния техники и технологий первичной переработки минерального сырья, разрабатываемые с учетом минерального состава руд, который в зависимости от многообразия присутствующих компонентов и их фазового состояния, напрямую влияет на процессы и аппараты для последующего обогащения руд<sup>1</sup>.

В последние десятилетия качество минерального сырья большинства типов металлов ухудшилось как за рубежом, так и в РК<sup>2</sup>. Появились категории так называемых труднообогатимых руд сложного вещественного состава, характеризующихся низким содержанием ценных компонентов, тонкой вкрапленностью и близкими технологическими свойствами минералов. Доля труднообогатимых руд возросла с 15% до 40% от общей массы сырья, поступающего на обогащение. Значительная часть рудных месторождений Казахстана, учтенных государственным балансом, представлена рядовыми и бедными рудами, а в ряде случаев труднообогатимыми или залегающими на больших глубинах.

Минерально-сырьевая база свинцово-цинковой промышленности Казахстана имеет более чем 200-летнюю историю. На территории Казахстана выявлено свыше трех тысяч свинцово-цинковых месторождений и

рудопроявлений. Были открыты, разведаны и вовлечены в эксплуатацию крупные полиметаллические месторождения в Восточном, Центральном и Южном Казахстане [1].

В зависимости от минералогического состава и вкрапленности свинцовых минералов используются различные методы их переработки. Тонковкрапленные сульфидные руды, как правило, перерабатываются с использованием метода флотации. Некоторые месторождения с незначительными запасами представлены крупновкрапленными, смешанными и окисленными рудами, которые возможно обогащать с использованием дешевых и экологически безопасных гравитационных процессов<sup>3</sup> [2, 3].

### Методы исследования

На основании изложенного была исследована гравитационная обогатимость смешанной свинцовой руды месторождения Родниковое с целью определения возможности получения кондиционных гравитационных свинцовых концентратов.

Руды месторождения комплексные; основные компоненты: свинец; попутные – серебро и кадмий. Локально в рудах отмечаются также несколько повышенные значения меди, молибдена и ванадия, но, в целом, содержания этих компонентов низкие и не имеют промышленного значения. Балансовые запасы<sup>4</sup> по месторождению Родниковое, утвержденные по категории  $C_1 + C_2$ , составляют 462 тыс. т. Минеральный состав

<sup>1</sup>Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. – М.: МГТУ, 2010. – Т. 2 «Технология обогащения полезных ископаемых». – 178 с.

<sup>2</sup>Ильичева Т.М., Попкова Е.Б., Сайлыбаева А.Н., Шегабаева Г.С. Основы экономики. Казахстан в современном мире. – Алматы: Достижения молодых, 2011. – 148 с.

<sup>3</sup>Мерин Н.Ф. Гравитационные методы обогащения. – Екатеринбург, 2005. – 204 с.

<sup>4</sup>Протокол №714 – 08 – КУ заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Республики Казахстан по рассмотрению результатов геологоразведочных работ за 2003-2007 годы на полиметаллическом месторождении Родниковое. – 2008.

Таблица 1

Минеральный состав смешанных руд месторождения Родниковое

Кесте 1

Родниковое кенорнының аралас кендерінің құрамы

Table 1

Mineral composition of mixed ores of the Rodnikovoye deposit

Главные	Второстепенные	Редкие	Весьма редкие
<i>Первичные рудные минералы</i>			
сфалерит	пирит	блеклые руды	самородная медь
галенит	халькопирит		самородное серебро
	магнетит		козалит
			галенобисмутит
			гринокит
			халькозин
<i>Первичные нерудные минералы</i>			
плагиоклаз (олигоклаз-андезин)	роговая обманка	рутил	ильменит
кварц	биотит	апатит	сфен
калиевый полевой шпат	доломит	барит	
кальцит	флюорит	циркон	
<i>Гипергенные рудные минералы</i>			
церуссит	гидроокислы и окислы Fe и Mn	пироморфит	коронадит
силикаты цинка	англезит	ванадинит	адамин
	каламин	миметезит	
	смитсонит	плюмбоярозит	
	вульфенит	лимонит, мартит	
		гетит, гидрогетит	
<i>Гипергенные нерудные минералы</i>			
кварц	глинистые минералы	гипс	
кальцит	гидрослоуды	доломит	
серицит	каолинит	флюорит	
хлорит		сидерит	

руд месторождения по данным всех проведенных исследований приведен в табл. 1.

Среднее распределение свинца и цинка в смешанных рудах по основным минеральным формам согласно результатам фазовых анализов приведено в табл. 2, где показано, что основная доля цинка приходится на нефлотуемые формы минералов.

Размерность рудной минерализации варьирует в широком диапазоне: от тонкой (несколько микрон) до мелкой (0,25 мм). Преобладает мелкозернистая минерализация, на локальных участках богатых руд – средне- и крупнозернистая. Выделения галенита и сфалерита характеризуются тесным взаимопрорастанием, что обуславливает значительное увеличение части сфалерита в свинцовом концентрате. Существенная часть сфалерита находится в тесной ассоциации со смитсонитом, что также ухудшает флотационные свойства руды.

Руду подвергали дроблению до крупности 70 мм. Гранулометрический состав дробленной руды месторождения Родниковое с распределением свинцовых минералов по классам крупности приведен в табл. 3.

#### Результаты и их обсуждение

Для определения гравитационной обогатимости<sup>5</sup> был выполнен фракционный анализ различных классов

крупности (табл. 4). По результатам ситового анализа средневзвешенное содержание свинца в пробе руды, поступившей на исследование, составило 1,17%.

На основании характера распределения свинца по классам крупности можно сказать, что извлечение свинца в суммарный класс крупностью 70-5 мм составило около 70%, при среднем содержании свинца 1,47%, значит, этот класс крупности можно считать оптимальным машинным классом для крупнокускового обогащения.

Анализ результатов фракционного состава, представленных в табл. 4, показывает возможность выделения тяжелых (концентратных) фракций с плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup> из всех классов крупности (табл. 5). Это доказывает принципиальную возможность обогащения дробленной свинцовой руды месторождения Родниковое с использованием гравитационных процессов.

Результаты табл. 5 показывают, что наиболее высокое содержание свинца во фракции с плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup> наблюдается в самом крупном классе (70-40 мм) и составляет 52,65%. Выход данной фракции плотности также наибольший (0,68%) при максимальном извлечении свинца 30,60%. Это можно объяснить тем, что в данном классе крупности концентрируется наибольшее количество свинца – 2,84%.

<sup>5</sup>ГОСТ 4790-80. Метод фракционного анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 22 с.

Таблица 2

Фазовый состав и распределение содержаний свинца и цинка в смешанных рудах

Кесте 2

Аралас кендердегі қорғасын мен мырыш құрамының фазалық құрамы және таралуы

Table 2

Phase composition and distribution of lead and zinc contents in mixed ores

Минеральные формы	Свинец		Цинк		
	Содержание, %		Минеральные формы	Содержание, %	
	абсолютное	относительное		абсолютное	относительное
Галенит	1,74	25,2	Сфалерит	0,06	12,0
Церуссит и англезит	4,21	60,9	Смитсонит	0,05	10,0
Вульфенит, пироморфит, другие окисные минералы	0,80	11,6	Каламин, адамин	0,06	12,0
Плюмбоярозит	0,16	2,3	Оксиды и гидроксиды железа и марганца, силикаты, алюмосиликаты	0,33	66,0
<b>ИТОГО в руде:</b>	<b>6,91</b>	<b>100,0</b>	<b>ИТОГО в руде:</b>	<b>0,50</b>	<b>100,0</b>

Таблица 3

Результаты мокрого ситового отсева дробленной руды

Кесте 3

Ұсақталған кенді ылғалды электік талдау нәтижелері

Table 3

Crushed ore wet sifting results

Класс крупности, мм	Выход, %		Содержание Pb, %		Извлечение Pb, %	
	частный	суммарный по (+)	частное	суммарное по (+)	частное	суммарное по (+)
70 – 40	17,94	17,94	2,84	2,84	43,26	43,26
40 – 20	14,30	32,24	1,26	2,13	15,32	58,58
20 – 10	11,78	44,02	0,50	1,69	5,12	63,70
10 – 5	10,10	54,12	0,51	1,47	4,35	68,05
5 – 2,5	7,30	61,42	0,67	1,38	4,23	72,28
2,5 – 1,25	5,49	66,91	0,71	1,32	3,23	75,51
1,25 – 0,63	3,65	70,56	0,83	1,30	2,72	78,23
0,63 – 0,00	29,44	100,0	0,87	1,17	21,77	100,0
<b>Руда</b>	<b>100,0</b>	–	<b>1,17</b>	–	<b>100,0</b>	–

Наиболее низкие содержания свинца во фракции плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup> наблюдаются в классах крупности 40-20 мм, 20-10 мм и 10-5 мм, соответственно, равны 30,18%, 31,59% и 30,90%. Выход данной фракции плотности в классе 40-20 мм составил 0,41% при извлечении свинца 10,58%.

Содержания свинца во фракции плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup> в классах крупности 5-2,5 мм, 2,5-1,25 мм и 1,25-0,63 мм относительно высокие и составляют, соответственно, 48,40%, 47,95% и 51,05%. Однако выход данных фракций очень низкий и равен 0,07%, 0,06% и 0,05% при соответственно низком извлечении свинца – 2,89%, 2,46% и 2,18%.

Теоретически возможный выход тяжелой (концентратной) фракции с плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup> при обогащении суммарного класса крупностью 70-0,63 мм составит 1,354% со средним содержанием свинца 44,05% при общем извлечении свинца 50,97%.

Анализ результатов фракционного состава (табл. 4) показывает наличие во всех классах крупности промежуточной фракции плотностью 2750-3000 кг/м<sup>3</sup> с содержанием свинца от 26,37% до 1,55%. Наиболее высокие содержания свинца в данной фракции плотности наблюдаются в крупных классах – 70-40 мм, 40-20 мм, 20-10 мм и 10-5 мм, соответственно, равных 12,96%, 15,04%, 18,05% и 26,37%. Однако выход данной фракции из всех классов крупности незначительный и колеблется в пределах от 0,32% до 0,05%. Это свидетельствует о том, что при гравитационном обогащении данных классов крупности, промежуточную фракцию плотностью 2750-3000 кг/м<sup>3</sup> отдельно выделить затруднительно. В связи с этим ее желательно выделять совместно с фракцией плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup>. Возможные показатели при совместном выделении фракций плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup> и 2750 кг/м<sup>3</sup> приведены в табл. 6.

Таблица 4

Распределение свинцовых минералов по фракциям плотности и классам

Кесте 4

Қорғасын минералдардың тығыздық фракциялары және кластары бойынша бөлу

Table 4

Distribution of lead minerals by density fractions and classes

Классы крупности, мм	Плотность фракций, кг/м <sup>3</sup>	Выход, % от		Содержание Pb, %	Извлечение, % от	
		класса	руды		класса	руды
70-40	- 2750	94,41	16,94	0,63	21,10	9,12
	2750-3000	1,77	0,32	12,96	8,08	3,54
	+ 3000	3,82	0,68	52,65	70,82	30,60
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>17,94</b>	<b>2,84</b>	<b>100,0</b>	<b>43,26</b>
40-20	- 2750	96,13	13,75	0,25	19,20	2,94
	2750-3000	0,99	0,14	15,04	11,82	1,80
	+ 3000	2,88	0,41	30,18	68,98	10,58
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>14,30</b>	<b>1,26</b>	<b>100,0</b>	<b>15,32</b>
20-10	- 2750	98,43	11,59	0,14	27,62	1,38
	2750-3000	0,99	0,12	18,05	35,74	1,85
	+ 3000	0,58	0,07	31,59	36,64	1,89
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>11,78</b>	<b>0,50</b>	<b>100,0</b>	<b>5,12</b>
10-5	- 2750	98,78	9,977	0,18	35,68	1,53
	2750-3000	1,08	0,109	26,37	55,84	2,45
	+ 3000	0,14	0,014	30,90	8,48	0,37
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>10,10</b>	<b>0,51</b>	<b>100,0</b>	<b>4,35</b>
5-2,5	- 2750	98,39	7,18	0,18	26,42	1,10
	2750-3000	0,67	0,05	5,68	5,68	0,24
	+ 3000	0,94	0,07	48,40	67,90	2,89
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>7,30</b>	<b>0,67</b>	<b>100,0</b>	<b>4,23</b>
2,5-1,25	- 2750	96,95	5,32	0,11	14,62	0,50
	2750-3000	1,90	0,11	2,88	7,71	0,27
	+ 3000	1,15	0,06	47,95	77,67	2,46
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>5,49</b>	<b>0,71</b>	<b>100,0</b>	<b>3,23</b>
1,25-0,63	- 2750	94,89	3,46	0,12	14,12	0,35
	2750-3000	3,83	0,14	1,55	7,15	0,19
	+ 3000	1,28	0,05	51,05	78,73	2,18
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>3,65</b>	<b>0,83</b>	<b>100,0</b>	<b>2,72</b>
70-0,63 мм	-	-	<b>70,56</b>	<b>1,30</b>	-	<b>78,23</b>
0,63-0,0 мм	-	-	29,44	0,87	-	21,77
<b>Руда</b>	-	-	<b>100,0</b>	<b>1,17</b>	-	<b>100,0</b>

Также результаты фракционного анализа показывают, что во всех классах крупности присутствует легкая фракция плотностью менее 2750 кг/м<sup>3</sup>. Выход данной фракции из каждого класса крупности составляет более 94% при содержании в них свинца от 0,63% до 0,11% (табл. 4). Наибольшее содержание свинца в данной фракции плотности наблюдается в самом крупном классе (70-40 мм) и составляет 0,63%.

#### Заключение

На основании результатов исследований гравитационной обогатимости смешанной руды месторождения Родниковое можно сделать выводы:

- из всех исследованных классов крупности возможно выделение тяжелых концентратных фракций с плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup>, содержанием свинца более 30,0% и выходом от 0,68% до 0,014%; наибольший выход соответствует крупным классам;

- во всех классах крупности присутствует промежуточная фракция с плотностью 2750-3000 кг/м<sup>3</sup>, содержанием свинца от 26,37% до 1,55%; наибольшие содержания соответствуют крупным классам; выход данной фракции плотности незначительный и при реальном обогащении их целесообразно выделять совместно с тяжелой концентратной фракцией;

Таблица 5

Показатели разделения по плотности 3000 кг/м<sup>3</sup> (фракция плотностью более 3000 кг/м<sup>3</sup>)

Кесте 5

3000 кг/м<sup>3</sup> тығыздығы бойынша бөлу көрсеткіштері (тығыздығы 3000 кг/м<sup>3</sup> асатын фракция)

Table 5

Separation indicators by density of 3000 kg/m<sup>3</sup> (fraction with a density of more than 3000 kg/m<sup>3</sup>)

Классы крупности, мм	Выход от руды, %	Содержание Pb, %	Извлечение от руды, %
70 – 40	0,68	52,65	30,60
40 – 20	0,41	30,18	10,58
20 – 10	0,07	31,59	1,89
10 – 5	0,014	30,90	0,37
5 – 2,5	0,07	48,40	2,89
2,5 – 1,25	0,06	47,95	2,46
1,25 – 0,63	0,05	51,05	2,18
<b>Итого</b>	<b>1,354</b>	<b>44,05</b>	<b>50,97</b>

Таблица 6

Фракционный состав суммарных классов крупности

Table 6

Fractional composition of total size classes

Кесте 6

Жалпы ірілік кластарының фракциялық құрамы

Классы крупности, мм	Плотность фракций, кг/м <sup>3</sup>	Выход, % от		Содержание Pb, %	Извлечение, % от	
		класса	руды		класса	руды
70-10	– 2750	96,04	42,28	0,37	20,80	13,44
	2750-3000	1,32	0,58	14,52	11,34	7,19
	+ 3000	2,64	1,16	43,44	67,86	43,07
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>44,02</b>	<b>1,69</b>	<b>100,0</b>	<b>63,70</b>
70-5	– 2750	96,56	52,257	0,335	21,94	14,97
	2750-3000	1,27	0,689	16,39	14,16	9,64
	+ 3000	2,17	1,174	43,29	63,90	43,44
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>54,12</b>	<b>1,47</b>	<b>100,0</b>	<b>68,05</b>
70-0,63	– 2750	96,68	68,217	0,29	21,75	16,92
	2750-3000	1,40	0,989	12,25	13,19	10,34
	+ 3000	1,92	1,354	44,05	65,06	50,97
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>70,56</b>	<b>1,30</b>	<b>100,0</b>	<b>78,23</b>
5-0,63	– 2750	97,08	15,96	0,143	19,46	1,95
	2750-3000	1,83	0,30	2,73	6,89	0,70
	+ 3000	1,09	0,18	48,99	73,65	7,53
	<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>16,44</b>	<b>0,725</b>	<b>100,0</b>	<b>10,18</b>

▪ из всех классов крупности возможно выделение легкой фракции плотностью менее 2750 кг/м<sup>3</sup> с выходом более 94% от каждого класса, при содержании свинца от 0,63% до 0,12%; наибольшее содержание свинца присутствует в самом крупном классе;

▪ наибольшее количество свинца концентрируется в суммарном классе крупностью 70-5 мм, выход которого составил 54,12% с содержанием свинца 1,47% при извлечении свинца 68,05%, данный класс

крупности наиболее целесообразно подвергать крупнокусковому обогащению;

▪ вторым машинным классом можно считать класс крупностью 5-0,63 мм, выход которого составил 16,44% с содержанием свинца 0,725% при извлечении 10,18%.

Для обогащения руды, дробленной до крупности 70 мм, рекомендуется использовать процесс крупнокусковой широко классифицированной отсадки, отличающийся простотой, высокой эффективностью и низкой себестоимостью<sup>6,7</sup>.

<sup>6</sup>Тарчевская И.Г. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – Свердловск, 1987. – 72 с.

<sup>7</sup>Райвич И. Д. Отсадка крупнокусковых руд. – М.: Недра, 1988. – 177 с.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ужкенов Б.С. Минерально-сырьевой потенциал Казахстана в канун 10-летнего юбилея Межправительственного Совета по разведке, использованию и охране недр. // Горный журнал. – 2007. – №10. – С. 34-37. (на русском языке)
2. Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Алексейчук Д.А. Влияние минерального состава сульфидов и их модификаций на выбор схемы и собирателей селективной флотации руд цветных металлов. // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2012. – №4. – С. 3-10. (на русском языке)
3. Бочаров В.А. Обогащение сульфидно-окисленных руд с фракционным выделением минералов цветных и благородных металлов. // Обогащение руд. – 2002. – № 6. – С. 45-48. (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ужкенов Б.С. Қазақстанның минералды-шикізат шамасының 10 жылдық мерейтойдың құрметіне табиғатты пайдалану және қорғау өкімет-кеңесінің барлауына арналған. // Кен журналы. – 2007. – №10. – Б. 34-37. (орыс тілінде)
2. Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Алексейчук Д.А. Сульфидтердің минералды құрамының және олардың модификацияларының түсті металл кендерін селективті флотациялау схемасы мен жинағыштарын таңдауға әсері. // ЖОО хабарлары. Түсті металлургия. – 2012. – №4. – Б. 3-10. (орыс тілінде)
3. Бочаров В.А. Сульфидты-тотыққан кендерден түсті және асыл металлдың минералдардын фракционды бөліп байыту. // Кең байыту. – 2002. – № 6. – Б. 45-48. (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Uzhkenov B.S. Mineral'no-syr'evoy potencial Kazakhstana v kanun 10-letnego yubileya Mezhpriavitel'stvennogo Soveta po razvedke, ispol'zovaniyu i ohrane nedr [Mineral and raw material potential of Kazakhstan on the eve of the 10th anniversary of the Intergovernmental Council for the exploration, use and protection of mineral resources]. // Gornyj zhurnal = Mining Journal. – 2007. – №10. – P. 34-37. (in Russian)
2. Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Alekseychuk D.A. Vliyanie mineral'nogo sostava sul'fidov i ix modifikacij na vybor sxemy i sobiratelej selektivnoj flotacii rud cvetnyx metallov [Influence of the mineral composition of sulfides and their modifications on the choice of the scheme and collectors of selective flotation of non-ferrous metal ores]. // Izvestiya vuzov. Cvetnaya metallurgiya = News of universities. Non-ferrous metallurgy. – 2012. – №4. – P. 3-10. (in Russian)
3. Bocharov V.A. Obogashhenie sul'fidno-okislennyx rud s frakcionnym vydeleniem mineralov cvetnyx i blagorodnyx metallov [Enrichment of sulfide-oxidized ores with fractional separation of minerals of non-ferrous and noble metals/ore dressing]. // Obogashhenie rud = Ore dressing. – 2002. – №6. – P. 45-48. (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Корабаев А.С.**, магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [kas161082@mail.ru](mailto:kas161082@mail.ru); **ORCID** 0000-0002-1802-9165

**Телков Ш.А.**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [S.Telkov@satbayev.university](mailto:S.Telkov@satbayev.university); **ORCID** 0000-0001-6641-4802

**Амирхан А.А.**, магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Химия и химические технологии» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [argyn-alma@mail.ru](mailto:argyn-alma@mail.ru); **ORCID** 0000-0002-7553-8775

## Авторлар туралы мәліметтер:

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

**Телков Ш.А.**, техникалық ғылымдар кандидаты, доцент, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Амирхан А.А.**, техникалық ғылымдар магистрі, «Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғам, «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Argyn S. Korabayev**, Undergraduate at the Metallurgy and Mineral Processing Department of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Shamil A. Telkov**, Candidate of Technical Sciences, Docent at the Metallurgy and Mineral Processing Department of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Alma A. Amirkhan**, Master of Engineering, Lecturer at the Chemistry and Chemical Engineering Department of the Non-profit Joint-Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.19

К.Б. Рысбеков, Г.Б. Бахмагамбетова

Институт геологии, нефти и горного дела Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАСТВОРА С ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

**Аннотация.** Идея работы заключается в адаптации физико-химических способов воздействия на заскандированные отходы в технических условиях с повторным их изменением. Рассмотрены следующие вопросы: зависимость математической модели кучи от процентных содержаний фракций рудной массы, которая позволяет разрыхленную массу рассматривать как физический объект несвязанной пористой среды; удельный расход выщелачивающего раствора изменяется пропорционально процентному содержанию ценных компонентов в отвалах забалансовых руд, подвергнутых геотехнологической переработке. Дано аналитическое обоснование удельного расхода выщелачивающего раствора, основанное на учете взаимодействия раствора с дисперсными частицами. Приводятся данные определения удельного расхода выщелачивающего раствора, зависящего от физико-механических характеристик несвязной пористой среды и физико-химических характеристик взаимодействия жидкости с рудной массой.

**Ключевые слова:** удельный расход, пористая среда, выщелачивающий раствор, взаимодействие, жидкость, рудная масса.

### Үймелеп шаймалау кезінде дисперсті бөлшектермен ерітіндінің өзара әсері

**Аңдатпа.** Жұмыстың идеясы жинақталған қалдықтарға физико-химиялық әсер ету тәсілдерін техникалық жағдайларда оларды қайта өзгерте отырып бейімдеу болып табылады. Келесі мәселелер қаралды: қоспатылған массаны байланыссыз кеуекті ортаның физикалық объектісі ретінде қарастыруға мүмкіндік беретін үйіндінің математикалық моделінің фракциялардың пайыздық құрамына, кен массасына тәуелділігі; шаймалайтын ерітіндінің меншікті шығыны геотехнологиялық өндеуге ұшыраған баланстан тыс кендердің үйінділеріндегі бағалы компоненттердің пайыздық құрамына қарай пропорционалды түрде өзгереді. Дисперстік бөлшектер мен ерітіндінің өзара әрекеттесуін ескеруге негізделген сілтілік ерітіндісінің үлестік шығысының талдамалық негіздемесі берілген. Байланыссыз кеуекті ортаның физикалық-механикалық сипаттамаларына және сұйықтықтың кен массасы мен өзара іс-қимылының физикалық-химиялық сипаттамаларына байланысты сілтілеу ерітіндісінің үлес шығынын анықтау деректері келтіріледі.

**Түйінді сөздер:** меншікті шығыс, кеуектіорта, сілтілі ерітінді, өзара іс-қимыл, сұйықтық, кен массасы.

### Effect of reaction of solution with dispersed particles in heap leaching

**Abstract.** Given the irreparability of declining mineral reserves at existing mining enterprises, the development strategy of the Republic of Kazakhstan pays great attention to new technologies for additional extraction of metals from man-made formations – left ores in the subsoil, open rock mass, substandard waste, temporarily inactive off-balance ore. Geotechnological methods of development, processing non-commercial ore, concentration tailings and metallurgical waste directly in dumps are rapidly developing. The article provides an analytical justification of the specific consumption of the leaching solution, based on the solution interaction with dispersed particles. Determined that the specific consumption of the leaching solution depends on the physical and mechanical characteristics of the disconnected porous medium and the physical and chemical characteristics of the liquid interaction with the ore mass.

**Key words:** specific consumption, porous medium, a leaching solution, interaction, liquid, ore mass, geotechnological methods, tailings and dumps, mining and metallurgical production, valuable components.

### Введение

К минеральному сырью, наиболее пригодному для переработки методом кучного выщелачивания (КВ), относится сырьё, обладающее достаточной пористостью и проницаемостью, обеспечивающими доступ цианистых растворов к поверхности благородных металлов и диффузию растворенных цианистых комплексов металлов в продуктивный раствор КВ<sup>1</sup> [1].

Расстояние между молекулами жидкости и твердых частиц, взаимодействующих между собой, значительно меньше расстояний, соприкасающихся между собой твердых частиц. Поэтому в зависимости от размеров и природы вещества частицы возникают силы взаимодействия, характер которых обусловлен одним или всеми из приведенных эффектов. В качестве примера рассмотрим взаимодействие воды с частицами горной массы. Вода, как уже отмечалось, состоит из полярных молекул с ионами водорода и кислорода, заряженных, соответственно, положительно и отрицательно. При взаимодействии воды с частицей пыли происходит поляризация ее молекул и ориентация диполей в электрическом поле частиц.

При классификации видов влаги в почвах и грунтах академик А.Ф. Лебедев слой воды, обволакивающий

частицу, выделяет как пленочную воду и называет максимальной молекулярной влагоемкостью<sup>2</sup>.

Молекулы воды, непосредственно окружающие частицу навала, подвержены большим силам притяжения на малых расстояниях [2]. Они настолько сильно связаны с поверхностью частиц, что не удается их отделить даже центрифугированием с ускорением, превосходящим ускорение свободного падения в несколько десятков тысяч раз. Это означает, что увеличивается объем твердой фазы выщелачиваемой кучи и сокращается объем ее пор. В связи с этим изменяется гранулометрический состав и структура обрушенной горной массы, увлажненной выщелачивающим раствором.

При адсорбции из выщелачивающего раствора на твердом теле различают два случая: адсорбцию неэлектролитов и электролитов. Когда адсорбируются молекулы растворенного вещества на поверхность твердой частицы, то это соответствует адсорбции неэлектролитов, а при избирательной адсорбции одного из ионов электролита – адсорбции электролитов.

На адсорбцию из растворов сильно влияет и структура адсорбента. Неполярные адсорбенты лучше адсорбируют неполярные молекулы раствора, а полярные адсорбенты – полярные адсорбтивы.

<sup>1</sup>Горная энциклопедия. / Гл. ред. Е.А. Козловский. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – Т. 4. – 623 с.

<sup>2</sup>Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А. и др. Почвоведение: учеб. для ун-тов. В 2 ч. / Под П65 ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – Ч. 1. Почва и почвообразование. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.

Химическая природа адсорбтивов по-разному влияет на его способность адсорбироваться на твердом теле, так как адсорбируемость зависит от природы адсорбента и воды, которые могут быть и неполярными веществами. Однако, важным в этом отношении является известное правило уравнения полярности, сформулированное П.А. Ребендером. В соответствии с этим правилом вещество  $C$  может адсорбироваться на поверхности раздела фаз «адсорбент – вода», если оно в результате своего присутствия в поверхностном слое будет уравнивать разность полярностей фаз между адсорбентом и водой. Адсорбция будет идти, если диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_c$  вещества  $C$  будет лежать между диэлектрической проницаемостью адсорбента  $\epsilon_a$  и воды  $\epsilon_w$ , т. е. если будет соблюдаться условие  $\epsilon_w > \epsilon_c > \epsilon_a$  или  $\epsilon_a > \epsilon_c > \epsilon_w$ .

Таким образом, также, как и в воде, в водных растворах кислот и щелочей мелкодисперсные частицы образуют мицеллы. При этом концентрации кислот должны быть меньше критической концентрации мицеллообразования (ККМ). При концентрации раствора ниже ККМ уменьшаются размеры мицелл, однако такое изменение экспериментально установить практически невозможно. С добавлением в воду кислот происходит значительное изменение поверхностного натяжения, которое влияет на смачиваемость твердых тел растворами. Смачиваемость определяется косинусом краевого угла смачивания<sup>3</sup>.

Смачивание характеризуется интенсивностью взаимодействия между молекулами различных веществ. Твердое тело тем лучше смачивается раствором, чем меньше взаимодействие между молекулами самого раствора. При добавлении в воду кислот уменьшаются силы взаимодействия между молекулами воды<sup>4</sup>. В результате добавления кислоты в воду понижается на определенную величину ее поверхностное натяжение и увеличивается смачивающая способность раствора.

При фильтрации выщелачивающего раствора сквозь отвал он, взаимодействуя с его полидисперсными частицами, образует дисперсную систему<sup>5</sup>. Дисперсная система состоит из дисперсной фазы и дисперсионной среды. Дисперсионная среда представляет собой воду, в которой имеются растворенные соли и минералы, а также растворенные кислоты и щелочи. За дисперсную фазу следует принимать нерастворимые твердые минералы, органические частицы и т. д. Дисперсионные системы в зависимости от размеров дисперсной фазы разделяются на следующие виды: молекулярные дисперсные, коллоидные, микрогетерогенные и грубодисперсные. Однако, следует отметить,

что переход от одной системы к другой не имеет резких границ<sup>6</sup>. Несмотря на это, для коллоидной и микрогетерогенной систем огромное значение имеют адсорбция и вообще поверхностные явления, в то время как поведение двух других систем определяется в основном объемными свойствами.

В результате фильтрации выщелачивающего раствора через отвал мы имеем дисперсную систему. Эта система изменяет строение и структуру отвала забалансовых руд, так как его частицы переходят из несвязной пористой среды в раствор [3]. Вследствие этого, происходит уменьшение размеров пор отвала или кучи и самоуплотнения несвязной пористой среды, что необходимо учитывать при определении удельного расхода выщелачивающего раствора [4].

### Методы исследования

Отвал рудной массы теоретически представим в виде несвязной среды с однородной пористостью. Это означает, что он сформирован из гранул строго одного размера и одинаковой формы. Кроме этого, размеры порового пространства такие, что могут удерживать жидкость только в углах пор. Если  $i$ -ое поровое пространство удерживает  $\sigma V_i$  объем жидкости, то полный объем жидкости, удерживаемый в объеме отвала, будет равен:

$$\Delta V_{ж} = \sum_{i=1}^N \sigma V_i, \quad (1)$$

где  $N$  – количество пор;

$\Delta V_{ж}$  – объем жидкости в навале горной массы, м<sup>3</sup>.

Умножив формулу (1) на плотность  $\rho_{ж}$ , получим массу жидкости в объеме отвала, т. е.:

$$M = \rho_{ж} \Delta V_{ж} = \rho_{ж} \sum_{i=1}^N \sigma V_i, \quad (2)$$

где  $M$  – масса жидкости в объеме отвала, кг;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Удельный расход жидкости можно представить как отношение ее массы к массе руды или породы, а с учетом относительной влажности горной массы  $v_{от}$  характеризует степень заполнения пор жидкостью и пористости отвала рудной массы можно выразить:

$$q = (\rho_{ж}/\rho_r 10^2) m v_{от} = 10^{-2} (\rho_{ж}/\rho_r) m v_{от}, \quad (3)$$

где  $q$  – удельный расход жидкости, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  – плотность рудной массы, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – пористость отвала рудной массы, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Величины  $\rho_r$  и  $m$  являются физическими характеристиками несвязной пористой среды, а  $\rho_{ж}$  определяет свойство жидкости. Величина относительной влажности  $v_{от}$  зависит от свойств жидкости и увлажняемой рудной массы, а также условий их взаимодействия. Однако недостатком формулы (3) следует считать, что она позволяет определить удельный расход растворов только для несвязных сред с однородной пористостью.

<sup>3</sup>Жараспаев М., Адилев К.Н., Ахмеджанов Т.К., Жанбатыров А.А., Бахмагамбетов Б., Павлоцкий В.Н., Бахмагамбетов Е.Б. Способ лабораторного моделирования отвала горной массы. / Патент РК №7354. – 31.01.94.

<sup>4</sup>Жараспаев М., Адилев К.Н., Ахмеджанов Т.К., Жанбатыров А.А., Бахмагамбетов Б., Павлоцкий В.Н., Бахмагамбетов Е.Б. Способ лабораторного моделирования отвала горной массы. / Патент РК № 2926. – 15.12.95. – Бюл. №4.

<sup>5</sup>Жараспаев М., Крупник Л.А., Бахмагамбетов Е.Б. Способ определения удельного расхода жидкости для обработки рудной массы. / Патент РК №14455. – 13.03.95.

<sup>6</sup>Орадовская А.Е., Морозов С.С. и др. Растворение и выщелачивание горных пород. – М., 2012. – 269 с.

Как известно, навал горной массы в карьерах образуются в результате разрушения массивов горных пород взрывчатыми веществами. Процесс разрушения и формирования навала зависит от многих факторов. Поэтому, в навале горной массы содержится широкий диапазон фракций, а именно от негабаритов размером 1,5 и более метров до высокодисперсных частиц, которые распределены по всему его объему. В связи с этим отвал рудной массы целесообразно рассматривать как несвязную среду с неоднородной пористостью.

Представим объем необходимой жидкости для реакции растворения полезных компонентов в порах отвала следующим образом (рис. 1):

$$\Delta V_{НЖ} = \Delta V_H - \Delta V_B - \Delta V_1 - \Delta V_2, \quad (4)$$

где  $\Delta V_H$  – объем пор отвала, м<sup>3</sup>;

$\Delta V_B$  – объем воздуха в отвале, м<sup>3</sup>;

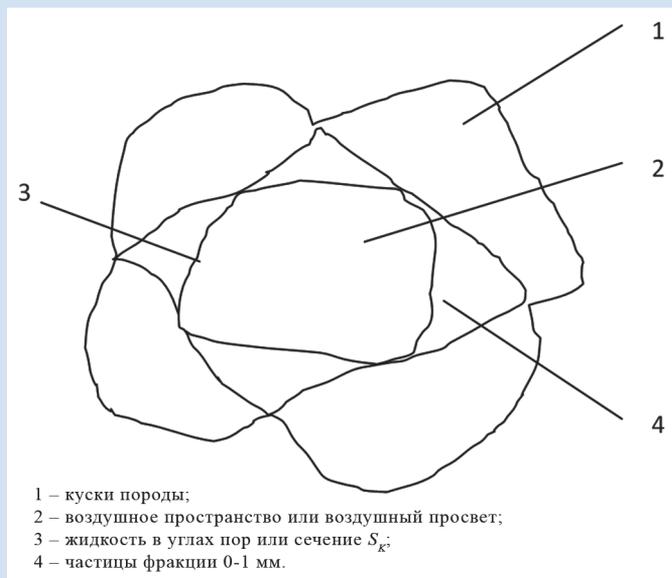
$\Delta V_1$  – суммарный объем частиц с прочно связанной жидкостью, м<sup>3</sup>.

При неполном заполнении пор навала происходит его самоуплотнение за счет смещения скелета навала при переходе частиц фракции 0-1 мм в раствор. С учетом объема самоуплотнения навала объем жидкости будет равен:

$$\Delta V_{НЖ} = \Delta V_H - \Delta V_B - \Delta V_1 - \Delta V_2, \quad (5)$$

где  $\Delta V_2$  – величина объема самоуплотнения, м<sup>3</sup>.

При прохождении раствора через рудную массу происходит растворение полезного компонента, который из рудной массы переходит в жидкость, в результате рудная масса уплотняется за счет уменьшения объема пор навала или кучи.



**Рис. 1. Схема распределения жидкости и фракции частиц 0-1 мм в поровом пространстве в куче или в отвале забалансовых руд.**

**Сурет 1. 0-1 мм сұйықтық пен бөлшектер фракциясын тегіс кеңістікте, тенгерімнен тыс кендердің үйіндісінде немесе үйіндісінде бөлу схемасы.**

**Figure 1. Diagram of liquid distribution and particle fraction 0-1 mm in pore space, in heap or in out-off-balance ore dump.**

Объем необходимой жидкости в отвале с учетом уменьшения пор навала и объема воздуха, содержащегося, в порах определяется:

$$\Delta V_{НЖ} = \Delta V_H - \Delta V_B - \Delta V_1 - \Delta V_2 - \Delta V_3, \quad (6)$$

где  $\Delta V_3$  – объем полезного компонента в рудной массе, м<sup>3</sup>.

Пусть степень заполнения пор или относительная влажность составляет  $\varphi_0$  процентов от объема пор навала, тогда суммарный объем частиц с прочно связанной жидкостью  $\Delta V_1$  составит  $(v + W_{MM})$  процентов от объема жидкости  $\Delta V_{Ж}$  в порах навала.

Объем  $\Delta V_1$  выразим через объем пор навала:

$$\Delta V_1 = [(v + W_{MM})/100\%]\Delta V_H, \quad (7)$$

где  $v$  – содержание частиц фракции 0-1 мм, %;

$W_{MM}$  – максимальная молекулярная влагоемкость частиц той же фракции, %.

Поскольку частицы фракции 0-1 мм участвуют в образовании дисперсной системы, то в скелете навала происходит смещение кусков на величину, пропорциональную весовому процентному содержанию фракции 0-1 мм, содержащейся в навале, поэтому для объема имеем:

$$\Delta V_2 = (v/100\%)\Delta V_H, \quad (8)$$

Изменение объема  $\Delta V_H$  на величину  $\Delta V_3$  обусловлено тем, что химический реагент вступает в реакцию растворения с полезным компонентом в рудной массе, в результате чего полезный компонент из рудной массы переходит в жидкость. Это, в свою очередь, приводит к уплотнению навала (кучи) рудной массы на величину  $\Delta V_3$ . Следовательно, объем  $\Delta V_3$  будет пропорционален процентному содержанию полезного компонента  $v_1$ .

Путем элементарных математических преобразований для объема жидкости, умножив  $\Delta V_{НЖ}$  на плотность соответствующей жидкости, получим ее массу:

$$M = \rho_{Ж} \Delta V_{НЖ} = 0,01 \rho_{Ж} \Delta V_H [\varphi_0 - (W_{MM} + 2v + v_1)], \quad (9)$$

где  $M$  – масса жидкости, кг.

Тогда удельный расход жидкости согласно<sup>3,4,5</sup>, учитывая естественную влажность  $W_e$  массы, представим как:

$$q = 0,01 [\rho_{Ж} m / \rho_r (1 - m)] [\varphi_0 - (W_{MM} + W_e + 2v + v_1)], \quad (10)$$

где  $q$  – удельный расход жидкости, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$m = \Delta V_H / V_H$  – пористость рудной массы, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\rho_{Ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  – плотность рудной массы, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi_0$  – относительная влажность рудной массы, %;

$W_{MM}$  – максимальная молекулярная влагоемкость (или растворимость), %;

$W_e$  – естественная влажность рудной массы, %;

$v$  – весовое процентное содержание фракции менее 1 мм, %;

$v_1$  – весовое процентное содержание полезного компонента в рудной массе, %.

### Результаты

Полученная формула (10), по сравнению с известной ранее, позволяет учитывать процентное содержание полезного компонента в рудной массе, что приводит к увеличению точности определения удельного расхода. Вывод формулы основан на физико-химических явлениях, протекающих в процессе взаимодействия руды с растворами химических реагентов, и не должен вызывать сомнения. Для всех величин, входящих в формулу, существуют методы лабораторного определения с достаточно высокой точностью.

**Обсуждение результатов**

Коэффициент разрыхления навала взорванной горной массы определяется прямым измерением объемов и фотометрическими методами. По величине коэффициента разрыхления вычисляется пористость навала горной массы.

Фильтрация жидкости в пористых средах протекает по-разному в зависимости от начальных условий, характеристик пористой среды, а также физико-химических свойств взаимодействия руды с раствором. Поэтому состояние раствора в пористой среде может быть различным, от него зависит удельный расход выщелачивающего раствора.

При фильтрации раствора с полным заполнением пор рудной массы относительная влажность будет составлять 100%, тогда в несвязной пористой среде будет отсутствовать процесс самоуплотнения. В этом случае удельный расход раствора определяется по формуле:

$$q = (\rho_{ж}/\rho_{г})[(K_p - 1)/K_p][1 - 0,01(W_{MM} + W_e + 2v + v_1)], \quad (11)$$

где  $K_p$  – коэффициент рыхления рудной массы, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для предварительной оценки и оперативного определения удельного расхода при малых значениях величины  $v$  и  $v_1$  можно воспользоваться выражением:

$$q = (\rho_{ж}/\rho_{г})[(K_p - 1)/K_p][1 - 0,01(W_{MM} + W_e)], \quad (12)$$

**Заключение**

Анализ полученных выражений (11), (12) показывает, что удельный расход зависит от величины  $q$ , которая является функцией поверхностного натяжения и коэффициента смачивания.

В настоящее время на горно-обогатительных комбинатах находится большой объем забалансовых руд в отвалах и хвостохранилищах, который необходимо переработать способом кучного выщелачивания. При этом эффективность зависит не только от способа выщелачивания, но и от материальных и трудовых затрат. Определение удельного расхода раствора по рассмотренным формулам позволит снизить затраты на химические реагенты, которые могут оказаться весьма существенными при обработке больших объемов рудных масс.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Мосинец В.Н. Перспективные направления инвестирования и промышленного извлечения цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов Республики Казахстан с использованием прогрессивных технологий предприятий Минатомэнерго России. // Минеральные ресурсы – важнейший фактор интеграции Республики Казахстан в систему мировой экономики. – Алматы, 1993. – С. 43-48. (на русском языке)
2. Дерягин Б.В., Абрикосова И.И., Лившиц Е.М. Молекулярное притяжение конденсированных тел. // Успехи физических наук. – 1958. – Т. 64. – С. 493-528. (на русском языке)
3. Лавров А.Ю., Секисов А.Г. Фотохимическая и электрохимическая активация процессов выщелачивания и сорбции дисперсных форм благородных металлов. // ГИАБ. – 2009. – №S15. – С. 169-175. (на русском языке)
4. Карпунин А.И., Аксенов А.В., Яковлев Р.А. Повышение эффективности кучного выщелачивания за счет разрушения руд в измельчающих валках высокого давления. // Перспективы развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Иркутск, 2013 (25-26 апреля). – С. 4-6. (на русском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Мосинец В.Н. Ресейдің Атомэнергия министрлігі кәсіпорындарының озық технологияларын қолдана отырып, Қазақстан Республикасының түсті, сирек кездесетін, радиоактивті және асыл металдарын инвестициялаудың және өнеркәсіптік алудың перспективалы бағыттары. // Минералдық ресурстар Қазақстан Республикасының әлемдік экономика жүйесіне кірігуінің маңызды факторы. – Алматы, 1993. – Б. 43-48. (орыс тілінде)
2. Дерягин Б.В., Абрикосова И.И., Лившиц Е.М. Конденсацияланған денелердің молекулалық тартылуы. // Физикалық ғылымдардың жетістіктері. – 1958. – Т. 64. – Б. 493-528. (орыс тілінде)
3. Лавров А.Ю., Секисов А.Г. Асыл металдардың дисперсті түрлерін сілтілеу және сорбциялау процестерін фотохимиялық және электрохимиялық белсендіру. // ГИАБ. – 2009. – №S15. – Б. 169-175. (орыс тілінде)
4. Карпунин А.И., Аксенов А.В., Яковлев А.А. Жоғары қысымды ұсақтағыш роликтерде кенді бұзу арқылы үйінділерді шаймалау тиімділігін арттыру. // Көмірсутекті, өсімдік және минералды ресурстарды өңдеу технологиясын дамыту перспективалары: халықаралық қатысумен III бүкілресейлік ғылыми-практикалық конференция материалдары. – Иркутск, 2013 (25-26 сәуір). – Б. 4-6. (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Mosinets V.N. *Perspektivnye napravlenija investirovanija i promyshlennogo izvlechenija cvetnyh, redkih, radioaktivnyh i blagorodnyh metallov Respubliki Kazahstan s ispol'zovaniem progressivnyh tehnologii predpriyatij Minatomjenergo Rossii* [Promising directions of investment and industrial extraction of non-ferrous, rare, radioactive and noble metals of the Republic of Kazakhstan using progressive technologies of enterprises of the Ministry of Atomic Energy of Russia]. // *Mineral'nye resursy – vazhnejshij faktor integracii Respubliki Kazahstan v sistemu mirovoj jekonomiki = Mineral resources are the most important factor in the integration of the Republic of Kazakhstan into the system of the world economy.* – Almaty, 1993. – P. 43-48. (in Russian)
2. Deryagin B.V., Abrikosova I.I., Livshits E.M. *Molekuljarnoe pritjazhenie kondensirovannyh tel* [Molecular attraction of condensed bodies]. // *Uspehi fizicheskikh nauk = Advances in the physical sciences.* – 1958. – Vol. 64. – P. 493-528. (in Russian)
3. Lavrov A.Yu., Sekisov A.G. *Fotohimicheskaja i jelektrohimicheskaja aktivacija processov vyshhelachivaniya i sorbcii dispersnyh form blagorodnyh metallov* [Photochemical and electrochemical activation of leaching and sorption processes of dispersed forms of noble metals]. // *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' = Mining information and analytical Bulletin.* – 2009. – №S15. – P. 169-175. (in Russian)
4. Karpukhin A.I., Aksenov A.V., Yakovlev R.A. *Povyshenie jeffektivnosti kuchnogo vyshhelachivaniya za schet razrusheniya rud v izmel'chajushhijh valkah vysokogo davlenija* [Increased efficiency of heap leaching due to destruction of ores in high-pressure grinding rolls]. // *Perspektivy razvitija tehnologii pererabotki uglevodorodnyh, rastitel'nyh i mineral'nyh resursov Materialy III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem = Prospects for the Development of Hydrocarbon, Plant and Mineral Resources Processing Technology: Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation.* – Irkutsk, 2013 (April 25-26). – P. 4-6. (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Рысбеков К.Б.**, канд. техн. наук, PhD, ассоциированный профессор, директор Института геологии, нефти и горного дела Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [k.ryzbekov@satbayev.university](mailto:k.ryzbekov@satbayev.university); **ORCID** 0000-0003-3959-550X  
**Бахмагамбетова Г.Б.**, докторант кафедры «Горное дело» Института геологии, нефти и горного дела Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [g.bakhtmagambetova@satbayev.university](mailto:g.bakhtmagambetova@satbayev.university); **ORCID** 0000-0001-6666-2195

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Рысбеков К.Б.**, техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University геология, мұнай және тау-кен ісі институтының қауымдастырылған директоры, (Алматы қ., Қазақстан)  
**Бахмагамбетова Г.Б.**, «Тау-кен ісі» кафедрасының докторанты, геология, мұнай және тау-кен ісі институты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Rysbekov K.B.**, PhD, Associate Professor, Director of the Institute of Geology, Oil and Mining of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)  
**Bakhtmagambetova G.B.**, Doctoral Student at the Department of Mining of the Institute of Geology, Oil and Mining of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.01.77

Б.Х. Янгитилава<sup>1,2</sup>, Э.М. Ли<sup>2</sup>, И.Ю. Мотовилов<sup>1</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр» (г. Алматы, Казахстан)

## ОТРАБОТКА РЕЖИМА СВИНЦОВОГО ЦИКЛА ФЛОТАЦИИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СИМПЛЕКС-ПЛАНИРОВАНИЯ

**Аннотация.** В лабораторных условиях проведены испытания влияния различных факторов на селективную флотацию свинца из полиметаллической руды месторождения Гагаринское. В исследуемой пробе руды основными промышленно ценными компонентами являются золото, серебро, свинец и цинк. Основным методом обогащения полиметаллических руд является флотация. Отработке режима флотации уделяется особое внимание, так как правильно подобранный режим флотации является залогом успешной переработки полиметаллических руд. Отработку режима флотации осуществляли с использованием метода математического планирования экспериментов – «симплекс-планирования». Основная цель планирования эксперимента – минимизация количества опытов и достижение требуемой точности выполняемых измерений без потери статистической достоверности результатов. В результате симплекс-планирования экспериментов установлено, что принятый из практики переработки аналогичных руд режим свинцовой флотации является оптимальным для флотации свинца из руды месторождения Гагаринское.

**Ключевые слова:** планирование экспериментов, полиметаллическая руда, галенит, сфалерит, содержание, извлечение, свинцовый продукт, флотация, реагент, симплекс-планирование.

### Симплекс-жоспарлау әдісінің көмегімен полиметалл кенін флотациялаудың қорғасын циклінің режимін өңдеу

**Андатпа.** Зертханалық жағдайларда Гагарин кен орнының полиметалл кенінен қорғасынның селективті флотациясына әртүрлі факторлардың әсерін зерттеу жүргізілді. Зерттелген кен үлгісінде негізгі өнеркәсіптік құнды компоненттері алтын, күміс, қорғасын және мырыш болып табылады. Флотация режимін игеруге ерекше көңіл бөлінеді, өйткені флотацияның дұрыс таңдалған режимі полиметалл кендерін сәтті өңдеудің кепілі болып табылады. Флотация режимі «симплекс-жоспарлау» эксперименттерін математикалық жоспарлау әдісін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Экспериментті жоспарлаудың негізгі мақсаты – эксперименттер санын азайту және нәтижелердің статистикалық сенімділігін жоғалтпай орындалатын өлшеулердің қажетті дәлдігін алу. Зерттеуге ұшыраған факторлар – ұсақтау мөлшері, шығындар: сода, сұйық шыны, цианид, мырыш сульфаты, амин жинағышы. Эксперименттерді жоспарлау симплексінің нәтижесінде ұқсас кендерді өңдеу практикасынан қабылданған қорғасын флотациясының режимі Гагарин кен орнынан қорғасынды флотациялау үшін оңтайлы екендігі анықталды.

**Түйінді сөздер:** эксперименттерді жоспарлау, полиметалл кені, галенит, сфалерит, үлестік мөлшері, бөліп алу дәрежесі, қорғасын өнімі, флотация, реагент, симплекс-жоспарлау.

### Testing of the lead cycle of polymetallic ore flotation using the simplex planning method

**Abstract.** The influence of various factors on the selective flotation of lead from the polymetallic ore of the Gagarinskoye deposit was tested in the laboratory. In the studied ore sample of the Gagarinskoye deposit, the main industrially valuable components are gold, silver, lead and zinc. The main method of polymetallic ore dressing is flotation. Special attention is paid to the development of the flotation mode, since a properly selected flotation mode is the key to successful processing of polymetallic ores. The flotation mode was worked out using the method of mathematical planning of experiments «simplex planning». The main goal of experiment planning is to reduce the number of experiments and obtain the necessary accuracy of measurements performed without losing the statistical reliability of the results. Factors subjected to the study – the size of grinding, costs: soda, liquid glass, cyanide, zinc sulfate, amine collector. As a result of simplex planning experiments, it was found that the lead flotation regime adopted from the practice of processing similar ores is optimal for flotation of lead from the ore of the Gagarinskoye deposit.

**Key words:** experiment planning, polymetallic ore, galena, sphalerite, content, extraction, lead product, flotation, reagent, simplex planning.

### Введение

Исследователю в повседневной работе приходится решать различные технические вопросы и задачи. Как правило, эти задачи имеют не единственное решение. Нужно развивать стиль исследовательской работы, основанный на использовании вычислительной техники, математики и кибернетики, т. к. на современном этапе вычислительная техника достигла высокого уровня развития. Имеется большой арсенал средств и методов, которые позволяют оптимизировать в той или иной мере большинство прикладных задач.

Для использования современных математических методов более важно правильно поставить, четко сформулировать и формализовать задачу, чем уметь вести кропотливые расчеты или принимать решения по трафаретной схеме. Основой исследовательской и инженерной работы становится творческое мышление.

Основным методом обогащения полиметаллических руд является флотация<sup>1,2</sup> [1-3]. Отработке режима флотации уделяется особое внимание, т. к. правильно подобранный режим флотации – залог успешной переработки полиметаллических руд<sup>3</sup> [3-5].

Отработку режима флотации можно проводить, используя традиционный подход к эксперименту, который требует отдельного исследования влияния каждого параметра, значимого для процесса. Применение традиционного подхода требует большого количества экспериментов, затраты времени и трудовых ресурсов. Для минимизации количества выполняемых экспериментов, возможно, использовать различные методы планирования эксперимента.

Планирование эксперимента – комплекс мероприятий, направленных на эффективное выполнение и постановку экспериментов (опытов, испытаний) [6].

<sup>1</sup>Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения: учебник для вузов. – М.: МГУ, Горная книга, Мир горной книги, 2008. – 710 с.

<sup>2</sup>Wang L.K. et al. (ed.). Flotation technology. – Totowa (New Jersey): Humana press, 2010. – 680 с.

<sup>3</sup>Тихонов О.Н., Назаров Ю.П. Теория и практика комплексной переработки полезных ископаемых в странах Азии, Африки и Латинской Америки: учебное пособие для вузов. – М.: Неора, 1989. – 300 с.

**Таблица 1**  
**Матрица значений  $r_{ij}$**   
**Кесте 1**  
**Матрица мәндер  $r_{ij}$**   
**Table 1**  
**Matrix of values  $r_{ij}$**

№ опыта	№ фактора					
	1	2	3	4	5	6
1	0,5	0,289	0,204	0,158	0,129	0,109
2	-0,5	0,280	0,204	0,158	0,129	0,109
3	0	-0,577	0,204	0,158	0,129	0,109
4	0	0	-0,612	0,158	0,129	0,109
5	0	0	0	-0,632	0,129	0,109
6	0	0	0	0	-0,645	0,109
7	0	0	0	0	0	-0,654

Основная цель планирования эксперимента<sup>4, 5</sup> – минимизация количества опытов и достижение требуемой точности выполняемых измерений без потери статистической достоверности результатов.

В настоящее время существует большое количество методов планирования экспериментов, основными из которых являются следующие:

- полный факторный эксперимент;
- дробный факторный эксперимент;
- центральный композиционный план;
- симплекс-планирование.

Из всех существующих методов полный факторный эксперимент является наиболее простым и в большей степени учитывает всевозможные связи факторов, однако с увеличением количества факторов применение данного метода становится практически невозможным, так как требуемое число опытов резко возрастает.

Метод симплексного планирования позволяет без предварительного изучения влияния факторов найти область оптимума. Последовательно чередуя расчет и выполнение экспериментов, исследователь достигает области экстремального значения параметра оптимизации (области оптимума). Основная идея симплексного метода состоит в следующем. Если во всех вершинах симплекса поставить опыты и измерить отклик, то по его величине можно судить, в каком направлении следует двигаться, чтобы приблизиться к экстремуму.

На основании изложенного авторами работы поставлена цель: с использованием метода симплекс-планирования эксперимента выполнить отработку режима селективной флотации свинцового цикла.

В качестве объекта исследования использована полиметаллическая руда месторождения Гагаринское<sup>6</sup>.

#### Методика и применяемые материалы

При симплекс-планировании опытов необходимо выбрать основной уровень значений факторов  $x_j^0$  и единицу их варьирования  $S_j$ . При исследовании

$m$  факторов необходимо первоначально поставить  $n = m + 1$  опыт. Значения факторов в каждом опыте исходного симплекса определяется по формуле (1):

$$x_{ij} = x_j^0 + r_{ij} S_j \quad (1)$$

где  $i$  – номер опыта;

$j$  – номер фактора;

$x_j^0$  – основной уровень значения факторов;

$S_j$  – единица варьирования;

$r_{ij}$  – коэффициент, величина и значения которого определяются элементами матрицы исходного симплекса.

Опыты по отработке режима свинцового цикла проводили по схеме, приведенной на рис. 1.

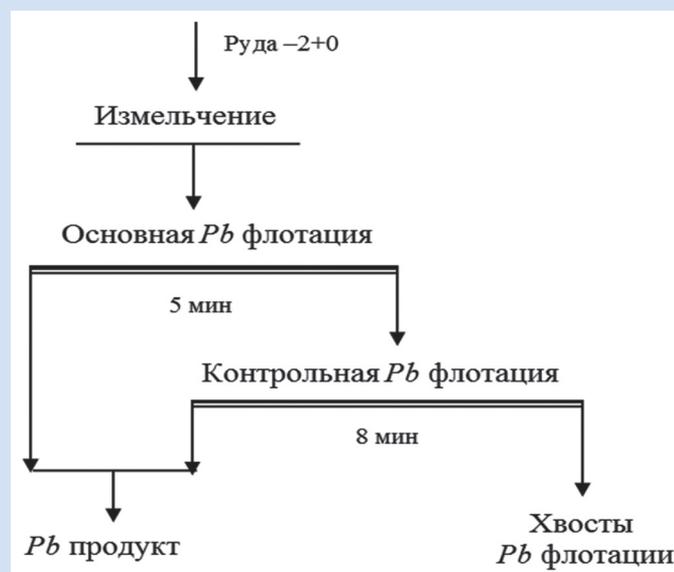
Для отработки режима свинцового цикла флотации осуществляли подбор:

- степени измельчения;
- оптимального значения pH (расход соды);
- расход жидкого стекла;
- расход цианида;
- расход цинкового купороса;
- расход собирателя.

Исследованию подлежат шесть факторов. Результаты опытов оцениваются по извлечению  $\epsilon$  свинца в свинцовый продукт. Принимается основной уровень изменения факторов  $x_j$  и интервал их варьирования  $S_j$ .

Для исследования  $m = 6$  факторов необходимо поставить  $n = 6 + 1 = 7$  опытов, матрица исходного симплекса приведена в табл. 1.

После принятия основного уровня и интервала варьирования факторов по формуле (1) определяются уровни факторов в опытах; полученные значения заносятся в рабочую таблицу экспериментов,



**Рис. 1. Схема открытых опытов по отработке режима свинцового цикла.**

**Сурет 1. Қорғасын циклінің режимін пысықтау бойынша ашық тәжірибелер схемасы.**

**Figure 1. Scheme of open experiments on working out the lead cycle mode.**

<sup>4</sup>Звонарев С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие. – Екатеринбург, 2019. – 112 с.

<sup>5</sup>Бабин А.В., Ракипов Д.Ф. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие. – Екатеринбург, 2019. – 112 с.

<sup>6</sup>Отчет Филиала РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханообр» о НИР «Проведение исследований и разработка технологии переработки руды месторождения Гагаринское» (заключительный). – Алматы, 2017. – 88 с.

Минеральный состав средней пробы руды месторождения Гагаринское

Таблица 2

Гагарин кен орны кенінің орташа сынамасының минералдық құрамы

Кесте 2

Mineral composition of the average ore sample of the Gagarinskoye deposit

Table 2

Название продукта	Минеральный состав, масс. %%													
	г/т		Рудные					Породообразующие						
	Золото	Серебро	Пирит	Арсенопирит	Сфалерит	Галенит	Минералы Си, блеклая руда	Кварц	Кальцит, доломит	Слюда	Хлорит	Полевые шпаты	Амфибол	Всего
Средняя проба	3,0-4,0	22,0-24,0	3,0-3,4	0,7-0,8	1,1-1,2	0,5-0,6	зн.	61,0-62,0	4,0-5,0	15,0-17,0	6,0-7,0	2,0	≤1,0	100,0

Таблица 3

Химический, пробирный анализы пробы руды

Кесте 3

Кеннің химиялық, сынамалық талдаулары

Table 3

Chemical, assay analysis of the ore sample

Элементы и соединения	Содержание, %	Элементы и соединения	Содержание, %
Золото, г/т	3,65-3,88	Сурьма	0,0038
Серебро, г/т	22,00-25,00	Мышьяк	0,30
Свинец	0,40-0,50	Диоксид кремния	63,46
Цинк	0,63-0,70	Оксид магния	1,63
Железо <sub>общее</sub>	5,50	Оксид кальция	2,45
Медь	0,0501	Оксид алюминия	10,65
Сера <sub>общая</sub>	2,23	Фосфор	0,03
Сера <sub>сульфидная</sub>	2,17	Окись натрия	0,62
Сера <sub>сульфатная</sub>	0,056	Окись калия	2,61
Никель	0,0007	ППП	4,89
Кобальт	0,001		

по ней ставятся опыты и определяется извлечение свинца. Далее определяется худший опыт, который отбрасывается, и по (2) проводится корректировка значенных факторов в процессе исследований. Скорректированное значение фактора для нового опыта определяется по значениям фактора, которые остались в рабочей таблице после отбрасывания худшего опыта:

$$x_i^{нов} = [(2 \sum_{i=1}^{n-1} x_{ij}) / (n-1)] - x_j^{отбр}; \quad i \neq A, \quad (2)$$

где  $x_j^{отбр}$  – значение  $j$ -го фактора в отбрасываемом опыте;  
 $x_j^{нов}$  – значение  $j$ -го фактора для нового опыта;  
 $A$  – номер отбрасываемого опыта.

После постановки скорректированного нового опыта его результаты заносятся в рабочую таблицу, аналогичным образом проводится дальнейший поиск до достижения почти стационарной области.

Проверка условия достижения почти стационарной области следующая: в центре симплекса ставят несколько опытов и сравнивают полученный средний результат этих опытов со средним результатом опытов в рабочей таблице. Если полученная величина мала

по сравнению с ошибкой опытов, почти стационарная область не достигнута и поиск нужно продолжать.

**Результаты исследований и их обсуждение**

В исследуемой пробе руды месторождения Гагаринское основными промышленно ценными компонентами являются золото, серебро, свинец и цинк; пирит – сопутствующий рудный минерал, в знаковых значениях присутствуют минералы меди, блеклая руда. Вмещающие породы представлены брекчированными метасоматически измененными образованиями различного состава<sup>6</sup>. В табл. 2 приведен минеральный состав руд месторождения Гагаринское; в табл. 3 – результаты химического анализа.

Основными промышленно ценными минералами наряду с золотом и серебром являются сфалерит и галенит, содержащиеся в средней пробе, соответственно, в количестве 1,1-1,2% и 0,5-0,6%; сопутствующие минералы – пирит и арсенопирит, составляющие порядка 3,7-4,2%; в небольшом количестве отмечаются минералы меди (халькопирит, борнит, ковеллин), блеклая руда



Таблица 6

Флотационный опыт при величинах основного уровня факторов

Кесте 6

Факторлардың негізгі деңгейінің шамалары кезіндегі флотациялық тәжірибе

Table 6

Flotation experience with the values of the main level of factors

Продукты	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Pb	Zn	Fe	Pb	Zn	Fe
Итого Pb продукта	6,14	6,923	4,384	17,41	85,88	38,08	19,31
Хвосты Pb флотации	93,86	0,074	0,466	4,76	14,12	61,92	80,69
Руда	100,0	0,495	0,707	5,54	100,0	100,0	100,0

извлечение свинца в которых составило 83,95% и 84,05%; среднее значение 84,0%. Среднее извлечение свинца по результатам оставшихся опытов в рабочей таблице составило 80,65%. Ошибку опытов принимаем равной  $\sigma_y = 1\% = 0,8065$ , разность между средними значениями опытов в центре симплекса и оставшихся опытов в рабочей таблице составляет  $84,0 - 80,65 = 3,35$ , что больше 0,8065. Следовательно, мы достигли почти стационарной области и дальнейшее движение к оптимуму методом симплекс-планирования нецелесообразно.

Также можно отметить, что полученные величины факторов при постановке опытов в центре симплекса близки к основному уровню факторов (табл. 4).

Поставлен контрольный опыт при величинах основного уровня факторов, результаты показаны в табл. 6.

При величинах основного уровня факторов, принятых из практики переработки аналогичных руд, извлечение свинца составило 85,88%, следовательно, принятый основной уровень является оптимальным

для селективной флотации свинца из полиметаллической руды месторождения Гагаринское.

**Выводы**

С использованием метода симплекс-планирования отработан режим свинцовой флотации полиметаллической руды месторождения Гагаринское с содержанием свинца 0,4-0,5%.

*Отработанный режим флотации:*

- степень измельчения руды 75% класса менее 0,074 мм;
- оптимальное значение pH (расход соды) – 500 г/т;
- расход жидкого стекла – 150 г/т;
- расход цианида – 20 г/т;
- расход цинкового купороса – 300 г/т;
- расход собирателя – 30 г/т.

При использовании данного режима флотации получены следующие показатели: свинцовый продукт с содержанием свинца – 6,923%; цинка – 4,38%; железа – 17,41% при извлечении свинца 85,88%, железа 19,31%. Выход свинцового продукта составил 6,14%.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Askarova G., Shautenov M., Nogaeva K. Флотационное обогащение стойких золотых руд. // E3S Web-конференции. – Печатные науки. – 2020. – №168. – С. 00005. (на английском языке). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800005>
2. Prakash R., Majumder S. K., Singh A. Способ флотации: его механизмы и конструктивные параметры. // Химическое машиностроение и переработка – интенсификация технологических процессов – 2018. – №127. – С. 249-270. (на английском языке). <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.03.029>
3. Gharai Mousumi, Venugopal R. Моделирование процесса флотации – обзор различных подходов. // Обзор переработки полезных ископаемых и добывающей металлургии. – 2016. – №37.2. – С. 120-133. (на английском языке). <https://doi.org/10.1080/08827508.2015.1115991>
4. Лазич П., Станоев И., Микович Б. Прямое селективное флотирование минералов свинца, меди и цинка из полиметаллической руды месторождения Подвирови. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2010. – №6. – С. 116-120. (на русском языке)
5. Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Барменшинова М.Б., Нурманова А.Н. Отработка свинцового цикла селективной флотации свинцово-цинковой руды. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2020. – №10. – С. 34-38. (на казахском языке)
6. Шендалева Е.В., Халимов Х.И. Планирование эксперимента при стендовых испытаниях топливорегулирующей аппаратуры. // Омский научный вестник. – 2019. – Т. 3. – №2. – С. 156-162. (на русском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Askarova G., Shautenov M., Nogaeva K. Тұрақты алтын кендерін флотациялық байыту. // E3S Web-конференциялар. – Баспа ғылымдары. – 2020. – №168. – Б.00005. (ағылшын тілінде). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800005>

2. Prakash R., Majumder S.K., Singh A. Флотация техникасы: оның механизмдері мен құрылымдық параметрлері. // Химиялық машина жасау және технологиялық процестерді күшейту. – 2018. – №127. – Б. 249-270. (ағылшын тілінде). <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.03.029>
3. Gharai Mousumi, Venugopal R. Флотация процесін модельдеу – әртүрлі тәсілдерге шолу. // Пайдалы қазбаларды өңдеу және тау-кен металлургиясына шолу. – 2016. – №37.2. – Б. 120-133. (ағылшын тілінде) <https://doi.org/10.1080/08827508.2015.1115991>
4. Лазич П., Станоев И., Микович Б. Подвинови кен орнының полиметалл кендерінен қорғасын, мыс және мырыш минералдарын тікелей селективті флотациялау. // Пайдалы қазбаларды игерудің физика-техникалық мәселелері. – 2010. – №6. – Б.116-120. (орыс тілінде)
5. Қашқов Ш.А., Мотовилов И.Ю., Барменшинова М.Б., Нурманова А.Н. Қорғасын-мыс кенін селективті флотациялаудың циклын өңдеу. // Қазақстанның кен журналы. – 2020. – №10. – Б. 34-38 (қазақ тілінде)
6. Шендалева Е.В., Халимов Х.И. Отын басқару жабдықтарын стендтік сынақтарда экспериментті жоспарлау. // Омбы ғылыми хабаршысы. – 2019. – Т. 3. – №2. – Б. 156-162. (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Askarova G., Shautenov M., Nogaeva K. Flotation enrichment of resistant gold ores. // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2020. – №168. – P. 00005. (in English) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800005>
2. Prakash R., Majumder S.K., Singh A. Flotation technique: Its mechanisms and design parameters. // Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. – 2018. – №127. – P. 249-270. (in English) <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.03.029>
3. Gharai, Mousumi, Venugopal R. «Modeling of flotation process – an overview of different approaches. // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2016. – №37.2. – P. 120-133. (in English) <https://doi.org/10.1080/08827508.2015.1115991>
4. Lazich P., Stanoev I., Mikovich B. Lazich P., Stanoev I., Mikovich B. Prjamoe selektivnoe flotirovanie mineralov svinca, medi i cinka iz polimetallicheskoj rudy mestorozhdenija Podvirovi [Direct selective flotation of lead, copper and zinc minerals from the polymetallic ore of the Podvirovi deposit]. // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh = Physical and technical problems of mineral development – 2010. – №6. – P. 116-120. (in Russian)
5. Telkov Sh.A., Motovilov I.Yu., Barmankulova M.B., Nurmanova A.N. Қорғасын-мыс кенін селективті флотациялаудың циклын өңдеу [Development of the lead cycle of selective flotation of lead-zinc ore]. // Gornyj zhurnal Kazahstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty. – 2020. – №10. – P. 34-38. (in Kazakh)
6. Shendaleva E.V., Khalimov Kh.I. Planirovanie jeksperimenta pri stendovyh ispytaniyah toplivoregulirujushhej apparatury [Planning an experiment in bench tests of fuel-regulating equipment]. // Omskij nauchnyj vestnik. = Omsk Scientific Bulletin. – 2019. – Vol. 3. – №2. – P. 156-162/ (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Янгитиладова Б.Х.**, магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), научный сотрудник отдела обогащения минерального сырья и полупромышленных испытаний Государственного научно-производственного объединения промышленной экологии «Казмеханобр» – Филиала Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» (г. Алматы, Казахстан), [b.yangitilavova@stud.satbayev.university](mailto:b.yangitilavova@stud.satbayev.university)

**Ли Э.М.**, начальник отдела обогащения минерального сырья и полупромышленных испытаний Государственного научно-производственного объединения промышленной экологии «Казмеханобр» – Филиала Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» (г. Алматы, Казахстан), [li-era@mail.ru](mailto:li-era@mail.ru)

**Мотовилов И.Ю.**, PhD, ассистент профессора кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [motovilov88@inbox.ru](mailto:motovilov88@inbox.ru)

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Янгитиладова Б.Х.**, Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының магистранты (Алматы қ., Қазақстан), «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының филиалы – «Казмеханобр» мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігінің минералдық шикізатты байыту және жартылай өнеркәсіптік сынақтар ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

**Ли Э.М.**, «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының филиалы – «Казмеханобр» мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігінің минералдық шикізатты байыту және жартылай өнеркәсіптік сынақтар бөлімінің бастығы (Алматы қ., Қазақстан)

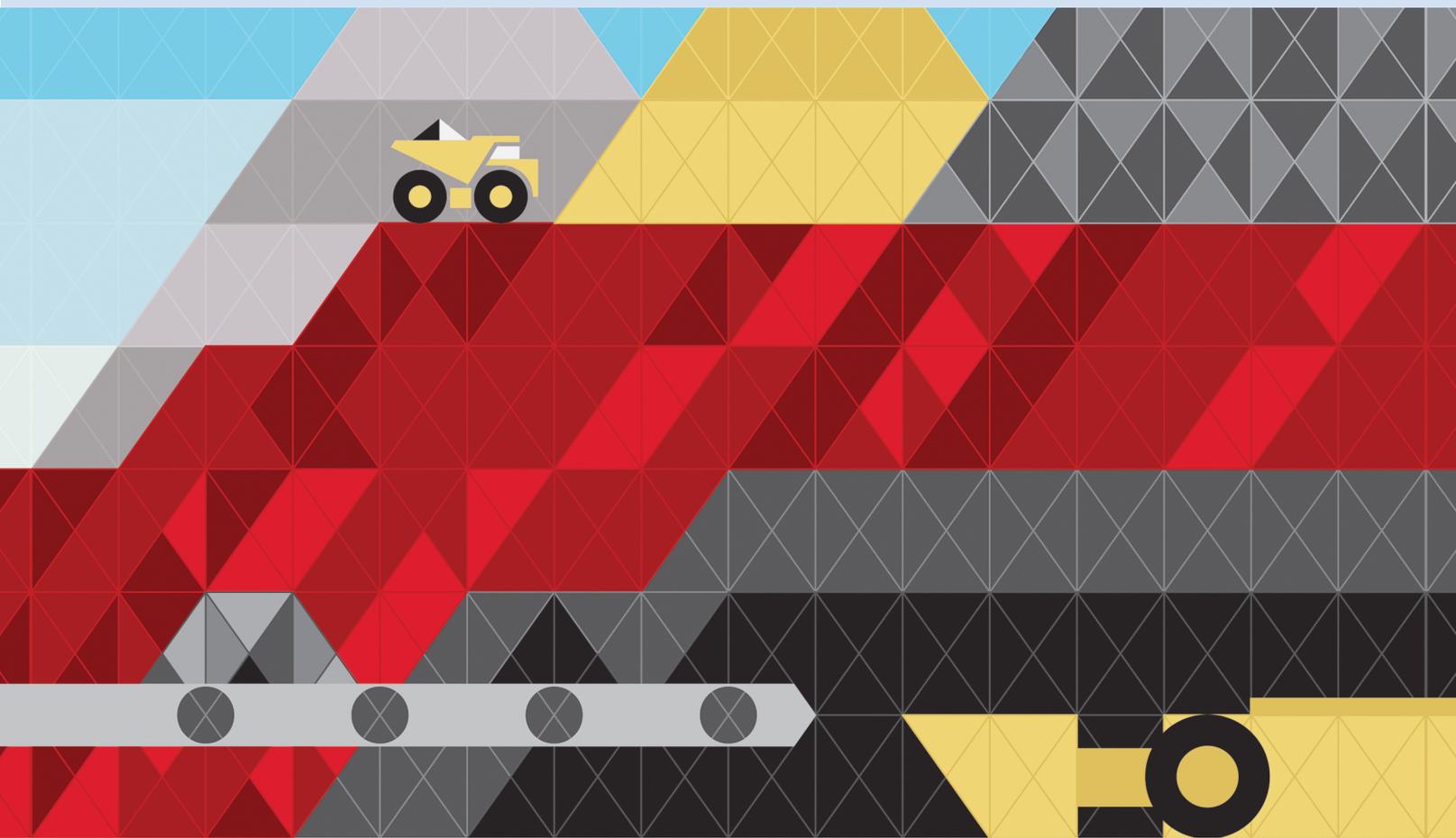
**Мотовилов И.Ю.**, PhD, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессор ассистенті (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Yangitilavova B.H.**, Master's Student at the Department of Metallurgy and Mineral Processing Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), researcher at the Department of Mineral Processing and Semi-industrial Processing of the State Scientific and Production Association of Industrial Ecology «Kazmexanobr» – a Branch of the Republican State Enterprise «National Center for Integrated Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan» (Almaty, Kazakhstan)

**Li E.M.**, Head at the Department of Mineral processing and Semi-industrial processing of the State Scientific and Production Association of Industrial Ecology «Kazmexanobr» – a Branch of the Republican State Enterprise «National Center for Integrated Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan» (Almaty, Kazakhstan)

**Motovilov I.Yu.**, PhD, Assistant-Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



# Рудник Урала – 2021 Екатеринбург

9–11  
ноября

6-я специализированная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для добычи и обогащения руд и минералов

**крупнейший проект горной тематики на Урале**

Официальная поддержка:

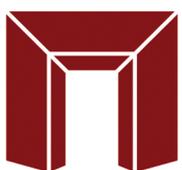


Правительство  
Свердловской  
области



Торгово-промышленная палата  
Российской Федерации  
В интересах бизнеса, во благо России

Профессиональная поддержка:



ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
**ПЕРМСКАЯ  
ЯРМАРКА**

МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»  
ЭКСПО-бульвар, дом 2  
(342) 264-64-14  
[www.mine.expoperm.ru](http://www.mine.expoperm.ru)



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

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

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

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

**Дополнительные рубрики:**

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

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

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

**3. Структура статьи** должна содержать следующие разделы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**К статье прилагаются сведения на английском языке:**

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

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

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

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

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

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой казахско-русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированным (следовать логике описания результатов в статье, кратко отображая основные мысли, содержащиеся в ее структурных частях – от проблемы, цели и методов до результатов исследований, предложений и главных выводов);
- быть написанным качественным английским языком;
- объемом не менее 700, но не более 900 знаков, включая пробелы.

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

#### 4. Стоимость публикации.

Стоимость публикации статьи в издании с 1 апреля 2021 года составляет 10000 тенге. В стоимость входит восемь экземпляров журнала с опубликованной статьей и присвоение DOI. Для авторов, проживающих в других городах (кроме г. Алматы) и не имеющих представителей в г. Алматы, в счет включаются почтовые услуги.



[www.amm.kz](http://www.amm.kz)

# AMM CONGRESS

20-21 октября 2021  
Нур-Султан, Казахстан

ФОРУМ • ВЫСТАВКА • ЦЕРЕМОНИЯ НАГРАЖДЕНИЯ «ЗОЛОТОЙ ГЕФЕСТ»  
+7 727 258 34 34