

научно-технический и производственный

# ГОРНЫЙ

## ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

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

Издается с января 2003 г.

Приказом №290 от 26.06.2022 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

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

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

Адрес редакции:  
050026, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,  
+7 (747) 343-15-02  
[minmag.kz](mailto:minmag.kz)

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

### Представители журнала:

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

Российская Федерация, Москва –  
**ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ**  
[shvetsirina@yandex.ru](mailto:shvetsirina@yandex.ru)

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

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

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

Подписано в печать 28.02.2025 г.

### Отпечатано:

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

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



**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

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

### Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Едильбаев А.И.**, д-р техн. наук

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

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

**Каримов Ш.В.**, PhD (Узбекистан)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Тамбиев П.Г.**, канд. техн. наук

**Туробов Ш.Н.**, PhD, доцент

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

**Хамидов Р.А.**, PhD, доцент

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

**Чепуштанова Т.А.**, PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

|    |                                                                                                                                                                                              |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Колонка главного редактора                                                                                                                                                                   |
| 4  | В 120 лет сварка только начинается: итоги и планы развития ESAB в Центральной Азии                                                                                                           |
| 7  | <i>Ю.А. Кожеевников, В.О. Лапин</i><br>Новое эффективное решение для горнодобывающей промышленности: модернизация стрелы шагающего экскаватора ЭШ 10/70 ®                                    |
|    | <b>Взрывчатые вещества</b>                                                                                                                                                                   |
| 10 | <i>*А.С. Турдалиева, Б.Р. Ракишев, Р.В. Гаврилко</i><br>Разработка и применение низкоплотных взрывчатых веществ                                                                              |
|    | <b>Геотехнология</b>                                                                                                                                                                         |
| 18 | <i>D.R. Akhmatnurov, *N.M. Zamaliyev, V.F. Demin, N.Y. Ganyukov</i><br>Modeling the stability of mining excavations                                                                          |
| 25 | <i>Б.Р. Ракишев, *А.А. Орынбай, Т.С. Ибырханов</i><br>Добыча руд без эксплуатационных потерь из сложноструктурных блоков уступов                                                             |
|    | <b>Геодезия</b>                                                                                                                                                                              |
| 36 | <i>Г. Рахимов, *М.Б. Игемберлина, Ж. Алданыш, Ж.Қ. Қадыр</i><br>PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесінде 1:2000 масштабты сандық ортофотопландарды құру                                   |
| 43 | <i>М.Б. Нурпеисова, *Б. Мынжасаров, Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова</i><br>Актуальность стадии подготовки GNSS наблюдений при выполнении прикладных задач                                  |
|    | <b>Геомеханика</b>                                                                                                                                                                           |
| 50 | <i>Э.Р. Халикова, *А.Е. Жумабекова, Д.С. Сыздыкбаева, М.Г. Мустафин</i><br>Тау жыныстарының әлсіреген аймағын нығайту жөніндегі технологиялық схемаларды әзірлеу                             |
|    | <b>Металлургия</b>                                                                                                                                                                           |
| 60 | <i>С.С. Конаратбекова, *Ж. Шопанбек, С.Б. Нуржанова, С.А. Семенов</i><br>Адсорбционная очистка промышленных вод от катионов тяжелых металлов модифицированными цеолитами                     |
|    | <b>Геоэкология</b>                                                                                                                                                                           |
| 68 | <i>К.Т. Abdraimova, *G.B. Toychibekova, G.S. Shalabaeva, A.M. Seytmetova</i><br>Mechanical composition, dynamics of physical properties of soil contaminated with polymetallic combine waste |
|    | <b>Юбилей</b>                                                                                                                                                                                |
| 77 | Даукеев Серикбек Жусупбекович (к 75-летию со дня рождения)                                                                                                                                   |
| 79 | Иван Никитович Столповских (к 85-летию со дня рождения)                                                                                                                                      |
| 80 | Требования к оформлению и условия предоставления статей                                                                                                                                      |



## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат  
Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Добрый день, коллеги!  
Уважаемая редколлегия!*

2025 год, как и во все другие времена, стремительно набирает свой темп, как нам всегда кажется, потому что наша жизнь и связанные между собой планы и мечты как индивидуума и как члена общества устремлены в будущее в зависимости от сроков их реализации.

Наша с вами профессиональная обязанность требует, чтобы мы всегда были на острие событий и на страницах журнала говорили о тех событиях и заботах, которые бы помогали на производстве и науке специалистам трудиться на передовых рубежах, обеспечивая безопасность, экономическую эффективность и наличие постоянно действующей достаточной сырьевой базы.

В Казахстане состояние геологической отрасли и зависящего от нее горно-металлургического комплекса на некоторых своих направлениях требует ускоренных конкретных решений. Они необходимы и для экономического роста, и для сохранения региональной занятости населения, и для долгосрочного формирования в соответствии с мировым рынком и возможностями нашего государства планов геологических поисков и разведки.

Открытие геологами ТОО «Центргеолсъемка» самого крупного на сегодняшний день месторождения редкоземельных металлов, новые достижения в поисках источников меди, объявленные планы по освоению Шу-Сарысуйского бассейна на обнаружение месторождений меди, ожидаемое в течение 35-ти лет строительство горно-обогательного комбината на Шалкие, развитие хромовой отрасли и Жайремского рудного района, рост запасов и производства золота вселяет вполне реализуемые надежды.

Надежды на сохранение и увеличение долевого участия Казахстана в производстве металлов наряду с нашими возможностями в горной металлургии (особенно в развитии производства комплексных железно-титано-ванадиевых руд Южно-Велиховское, Масальское и Тымлай), химической отрасли (удобрения, йод, бром), твердых углеводородов ставят нашу страну на ведущие позиции в мировом регистре.

Из привычных традиционных регионов, конечно, необходимо сохранить мощности в Восточном Казахстане (особенно Казцинк и Kazminerals) и более внимательно и конкретно рассмотреть Туркестанскую область, в планах которой по развитию экономики вообще исчезли напоминания о геологии и горном производстве.

Ожидаемое и осуществляемое развитие горнорудной составляющей в экономике Кызылординской (ванадий, цинк, свинец, кадмий, серебро) и Жетысуской (вольфрам и, может быть, свинец, цинк, медь и серебро) имеют под собой вполне реальные основы. Талды-Корганская область в течение будущих пяти лет может стать еще одним объектом крупного медного производства благодаря содружеству с Русской медной компанией на месторождении Коксай.

В перспективной оценке следует иметь в виду возможности первого в Казахстане производства сланцевого газа на Кендырлыкском месторождении в Зайсанском районе ВКО, меди на месторождениях Кызылкаин в Тарбагатайском районе ВКО и Ирису в Туркестанской области.

Таков на февраль 2025 года примерный обзор перспектив Казахстана, для реализации которых требуются только воля и четкое планирование реализации наших планов в формате создания «Нового Казахстана».

## В 120 ЛЕТ СВАРКА ТОЛЬКО НАЧИНАЕТСЯ: ИТОГИ И ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ ESAB В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

ESAB – мировой производитель оборудования и материалов для сварки и резки металлов с каждым годом укрепляет свои позиции на рынке Центральной Азии. В 2024 году компания представила новинки технологичных сварочных аппаратов, а также приняла активное участие в значимых отраслевых событиях. Про основные достижения прошлого года и о планах на 2025 год нашей редакции рассказала **Екатерина Татарникова, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.**



– Екатерина, расскажите, пожалуйста, как давно компания ESAB представлена в странах Центральной Азии?

– Партнерство ESAB с предприятиями региона началось в 2007 году, и все это время мы постоянно совершенствуемся, учитывая запросы быстро развивающегося промышленного сектора. Более чем 15-летнее сотрудничество позволило нам досконально изучить особенности рынка в странах присутствия, научиться понимать потребности наших заказчиков, развивать и укреплять партнерства с ведущими игроками отрасли.

– С какими предприятиями вы ведете работу, или это секрет?

– Могу перечислить несколько. Например, в Республике Казахстан компания сотрудничает с такими компаниями, как корпорация ERG, Политехнический колледж корпорации «Казахмыс», PSI Group, «Казахстан Парамант Инжиниринг» (КРЕ), «Локомотив құрастыру зауыты» (ЛКЗ), «Maker (Мэйкер) КЛМЗ», «Казахстан Каспиан Оффшор Индастриз ТОО» (КСОИ), «Алюминий Казахстана», «Шубарколь комир», «Электровоз құрастыру зауыты» (ЭКЗ). В Кыргызстане мы сотрудничаем с золотодобывающим предприятием «Кумтор Голд компани». Плодотворная работа также ведется с Государственной нефтяной компанией Азербайджанской Республики SOCAR, строительной компанией нефтегазового и промышленного сектора Узбекистана ENTER Engineering, ведущим предприятием Таджикистана – «ТаджикСГЭМ».

– Знаем, что в 2004 году ESAB отметила свое 120-летие. Что этот год принес компании и партнерам?

– Для ESAB год оказался очень насыщенным. Благодаря отличной работе команды мы адаптировали поставки под запросы времени и обеспечили заказчиков качественным и надежным оборудованием. Так, мы презентовали производительный аккумуляторный сварочный аппарат Renegade VOLT™ ES 200i, который позволяет работать в сложных условиях без подключения к электросети. А компактный полуавтомат Rustler EM 350C Synergic способен выдерживать высокие нагрузки, благодаря чему подходит для применения в промышленности и в создании металлоконструкций. Также востребованными оказались многофункциональные аппараты Rogue EMP 210 PRO, которые позволяют эффективно работать в полевых условиях.





Оборудование прошло производственные тесты в разных условиях эксплуатации, и мы уже получаем положительные отзывы от заказчиков.

Официальная дата основания ESAB – 12 сентября 1904 года. Именно тогда в шведском городе Гетеборге начало работать предприятие Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget, с первых дней более известное под сокращенным названием ESAB. Изначально оно занималось сваркой в судостроении, но в основе бизнес-концепции всегда стояли развитие сварочных технологий и производство оборудования. В числе множества разработок ESAB – технология TIG, метод дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа (GMAW) или MIG/MAG. Компания ни на миг не останавливается в развитии, внедряя инновации и задавая стандарты качества в отрасли.

– Какое событие 2024 года более всего запомнилось команде ESAB?

– Мы широко отпраздновали юбилей на международной выставке «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов» – Mining and Metals Central Asia в Алматы. Наша команда единственная среди экспонентов презентовала технологии и материалы для сварки и резки. Поздравить ESAB приехали многие наши партнеры. Например, производитель и поставщик специального оборудования для железнодорожной отрасли Казахстана Drive Industry представил часть рельса, отремонтированного с использованием современной технологии автоматической наплавки ESAB. Также на открытой площадке работала наша передвижная сварочная мастерская, в которой гости смогли оценить возможности оборудования на практике. Для нас это был настоящий профессиональный праздник – с множеством гостей, поздравлений и яркими эмоциями.



Также хочу отметить, что в прошедшем году ESAB расширила свое участие в отраслевых событиях в качестве эксперта.

– Расскажите, пожалуйста, о некоторых из них.

– Весной 2024 года в столице Азербайджана компания ESAB познакомила специалистов и студентов профильных колледжей с комплексными решениями для сварочных работ в рамках Технологического семинара. Мероприятие было организовано при поддержке нашего стратегического партнера и дистрибьютора – компании B.I.Profit на площадке Бакинского Государственного центра профессионального образования промышленности и инноваций.

А на международной выставке Kazakhstan Machinery Fair в Астане был организован круглый стол «Новое поколение выбирает Безопасность. Современные решения в области сварки и резки на промышленных предприятиях страны». Специалисты ведущих компаний





Казахстана представили успешные кейсы по организации безопасного производства на промышленных предприятиях, а также подчеркнули важность охраны труда. Еще одной значимой страницей стало участие в организации чемпионатов профессионального мастерства Worldskills.

– Компания часто принимает участие в образовательных проектах для молодежи?

– Да. Для ESAB поддержка движения Worldskills и других профессиональных состязаний является неотъемлемой частью работы и доброй традицией. Для нас очень ценно делиться своей экспертизой с молодым поколением сварщиков, способствовать тем самым их знакомству с международными трендами и, как следствие, формированию новой культуры производства. Так, в рамках Worldskills Kazakhstan 2024 компания совместно со своим стратегическим партнером и дистрибьютором в регионе WELDING COMPANY оборудовали для секции «Сварочные технологии» 12 рабочих постов. В 2025 году мы продолжили поддерживать проект, теперь уже в Узбекистане. На 5-м Национальном чемпионате рабочих профессий Worldskills в Самарканде мы организовали рабочие посты, укомплектованные сварочными полуавтоматами ESAB Rustler EM 350C PRO Synergic и инверторными установками для аргонодуговой сварки ESAB Caddy Tig 2200i AC/DC. Кроме этого, наши эксперты приняли участие в деловой программе, на которой представили актуальные тренды сварочного дела руководителям техникумов и колледжей со всей страны.

Целью международного движения WorldSkills International, в которое на сегодняшний день входят 89 стран, является повышение статуса и стандартов профессиональной подготовки молодых специалистов по всему миру. Для многих государств Центральной Азии повышение качества профессионального образования молодежи является приоритетной задачей. Так, 2025 год объявлен в Казахстане Годом рабочих профессий с целью развития профессионального образования и систематизации рынка труда рабочих специалистов. А одной из целей стратегии «Узбекистан – 2030» является усиление связей между образовательными организациями и представителями промышленных предприятий.

– Поделитесь, пожалуйста, планами компании в Центральной Азии на 2025 год.

– Этот год для ESAB обещает быть еще более насыщенным и результативным. Впереди много планов, в том числе запуск продуктов и технологий, расширение присутствия на рынке и участие в самых амбициозных проектах. наших заказчиков ждут усовершенствованные модели сварочных аппаратов и новые решения. Например, на подходе более функциональная версия сварочных инверторов линейки Warrior с функциями для сварки корневых швов и тонколистового металла. Мы планируем выйти на новые для себя рынки, а также увеличить поддержку образовательных программ для студентов колледжей Центральной Азии. Уверена, что наших партнеров, команду ESAB и всех единомышленников ожидают продуктивная работа и достижение новых высот в развитии технологичности.





ЭКГСЕРВИС

АО «ЭКГСервис»  
454091, г. Челябинск,  
ул. Карла Маркса, 131,  
этаж 4  
+ 7 (351) 246-60-60  
info@ekg-servis.ru  
www.ekg-servis.ru  
@ekgservis



САЙТ, ПРЕЗЕНТАЦИЯ,  
ПРЯМЫЕ КОНТАКТЫ

**Кожевников Юрий Андреевич**  
Руководитель направления производства литья  
АО «ЭКГСервис», кандидат технических наук

**Лапин Виктор Олегович**  
Коммерческий директор АО «ЭКГСервис»

## НОВОЕ ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРЕЛЫ ШАГАЮЩЕГО ЭКСКАВАТОРА ЭШ 10/70

Повышение показателей эффективности и производительности горной техники и оборудования на горнодобывающих предприятиях является актуальной задачей в современных условиях. Достижение плановых показателей производительности горной техники на угледобывающих предприятиях – задача значимая, поскольку технология ведения добычи угля открытым способом характеризуется высоким коэффициентом вскрыши, поэтому угольные предприятия раньше других добывающих отраслей начали и продолжают эксплуатировать экскаваторы большой единичной мощности: ЭШ-10/70, ЭШ-13/50 и ЭШ-14/50 (НКМЗ), находящиеся в эксплуатации с 1970-х годов, прошедшие несколько модернизаций и капитальных ремонтов.

В сложившихся условиях, по известным причинам, заводы-изготовители, в частности НКМЗ, Донецк-Гормаш не имеют возможности поставлять запасные части к данным моделям экскаваторов, которые по-прежнему востребованы. Дефицит в качественных комплектующих и запасных частях ощущается особенно остро.

На одном из разрезов угледобывающего предприятия в «СУЭК-Красноярск» появилась необходимость в приобретении стрелы шагающего экскаватора ЭШ 10/70. Требования к общей конструкции стрелы экскаватора и ее различных элементов были обозначены с позиции повышения эффективности эксплуатации, уделения внимания вопросу повышения надежности и безопасности узлов конструкции стрелы при ее обслуживании.

Специалисты челябинского предприятия АО «ЭКГСервис» взялись за решение поставленной задачи и на этапе исследования и изучения опыта эксплуатации, модернизации стрел экскаваторов ЭШ 10/70 на многих горнодобывающих предприятиях, в том числе и детального изучения условий эксплуатации на предприятии Заказчика, зафиксировали основные недочеты: слабые места в конструкциях стрел, неудобства для безопасного процесса эксплуатации и ремонтного обслуживания.

Сложность конструкции стрелы и наличие нескольких видов нагрузок требовало применения специальных программ для точного расчета напряжения. Учитывая необходимость точных расчетов, специалисты предприятия АО «ЭКГСервис» совместно с учеными кафедры «Горные машины и комплексы» проработали и получили результаты необходимых изменений в конструкции стрелы с применением новейших технологий 3D проектирования,

позволяющих определить значения напряжений во всех элементах стрелы, подобрать рациональные геометрические параметры и внести элементы модернизации, тем самым улучшить параметры металлоконструкции, а именно:

- по результатам расчетов и составленным моделям выполнены исследования для нескольких расчетных положений ковша, определено: условие прочности выполняется. Коэффициент запаса по пределу текучести 1,78. Условие устойчивости выполняется. Коэффициент запаса по устойчивости  $> 9$  (рис. 1);

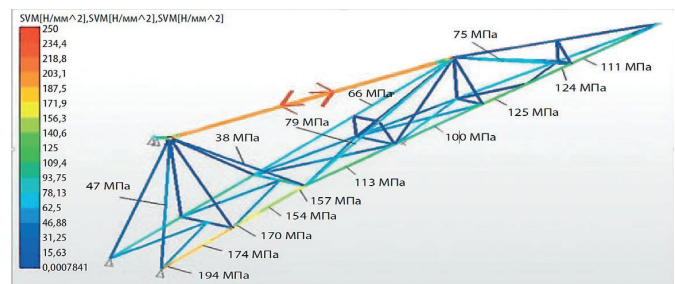


Рис. 1. Карта напряжений

- разработана конструкция переходного конуса с внутренними ребрами жесткости («плавник акулы»), что позволило значительно упрочнить конструкцию и снять внутреннее напряжение узла (рис. 2);

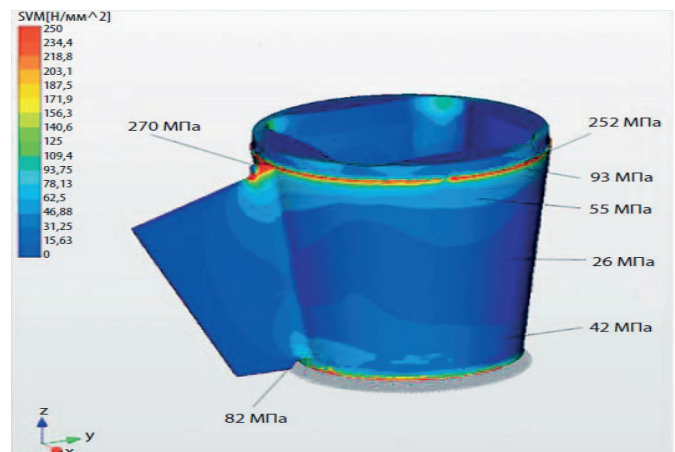
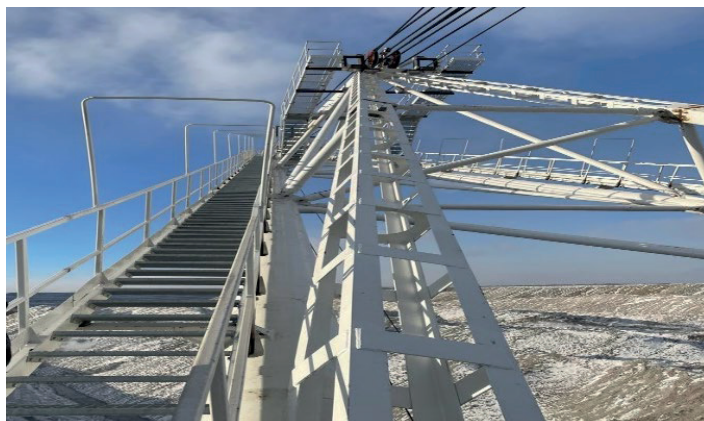
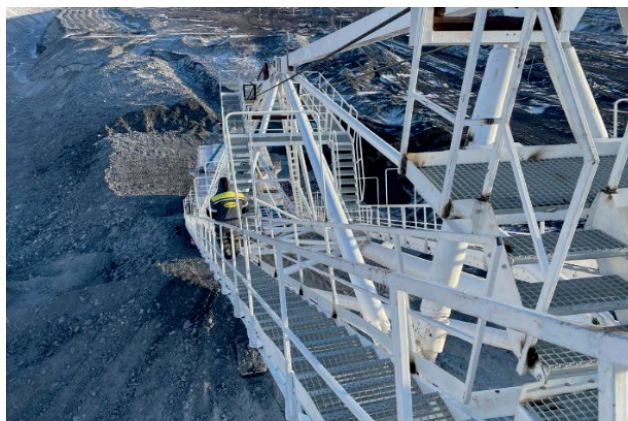


Рис. 2. Результаты расчета напряжений для конуса нижней секции





**Рис. 3. Лестницы для осмотра стрелы**

- изменена форма каплевидной серьги, что позволило увеличить ее прочность в два раза;
- заменены ролики на подшипниках на рельсы с возможностью быстрой замены;
- лестницы для осмотра, размещенные по обе стороны стрелы – сбалансировали металлоконструкцию по нагрузке. В конструкции определено оптимальное значение угла наклона лестниц и площадок для обслуживания (площадка прожекторов, площадки пилонов, площадка головы стрелы) относительно горизонта, что значительно повысило уровень безопасности перемещения персонала при осмотре стрелы;
- заменено заводское покрытие ступенек и площадок обслуживания на оцинкованный пресс-настил, чтобы избежать налипания и намерзания снега в осенне-зимние периоды и безопасно передвигаться персоналу по лестничным маршам (рис. 3);
- применение стали марки 17Г1С-У позволило значительно повысить устойчивость стрелы к воздействию повышенного давления, крайне низких отрицательных температур (вырос предел холодостойкости металла) и температурных перепадов;
- улучшение конструкции верхнего пояса позволило упростить контроль сварных швов. В изготовлении конструкции применен металлический лист (12 м) – это снизило количество сварных швов практически в два раза.

Таким образом, наличие достаточных производственных площадей, оборудования и кооперации с другими предприятиями и научными организациями позволило специ-

алистам предприятия АО «ЭКГСервис» спроектировать и изготовить стрелу экскаватора ЭШ 10/70 в заданные сроки, с надлежащим качеством, успешно осуществить ее первичную сборку и провести приемо-сдаточные испытания на производственной площадке с учетом всех требований. Результатом испытаний стало подтверждение соответствия изготовленного изделия всем требованиям предприятия заказчика – были оформлены соответствующие документы.

В результате модернизации стрелы ее масса увеличилась всего на 2,8 т (с 52 до 54,8 т, по нормативам допустимо до 60 т).

В сопровождении к Изделию был приложен полный комплект ремонтно-технологической и эксплуатационной документации на основе действующих стандартов и требований для горнодобывающих предприятий: паспорт изделия, формуляр, технологическое руководство на монтаж-демонтаж, сборку-разборку стрелы, методика нивелировки стрелы, результаты расчетов на прочность.

В рамках гарантийного срока и авторского надзора за изделием, разработчиками и поставщиками стрелы в апреле 2024 года был проведен контроль ее фактического технического состояния после эксплуатации в осенне-зимние периоды. Результаты, полученные в ходе комплексной оценки технического состояния модернизированной стрелы экскаватора ЭШ 10/70, свидетельствуют о ее надлежащем состоянии. Ультразвуковая дефектоскопия швов металлоконструкции стрелы не выявила каких-либо существенных отклонений.



**Рис. 4. Стрела экскаватора ЭШ 10/70 на площадке Производителя**

С момента сборки и монтажа модернизированной стрелы экскаватора ЭШ 10/70, эксплуатируемого в «СУ-ЭК-Красноярск», прошло больше 18 месяцев и этот период эксплуатации экипажем экскаватора и обслуживающим персоналом характеризуется положительно: металлоконструкция стрелы находится в хорошем техническом состоянии и, выполняя свою функцию, позволяет обеспечивать заданные плановые показатели.



**Рис. 5. Стрела экскаватора ЭШ 10/70 на предприятии Заказчика**

Далее, основываясь на освоенных подходах к исследованию условий эксплуатации и детального анализа показателей эксплуатации горной техники на горнодобывающих предприятиях, специалисты АО «ЭКГСервис» провели работы:

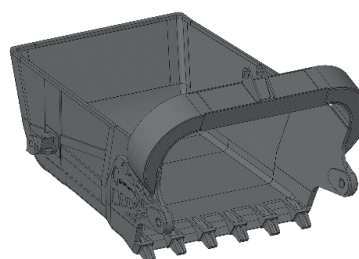
- усовершенствовали конструкции гусеничных рам экскаватора ЭКГ-10, работающего на Михайловском ГОКе, с целью повышения прочностных и эксплуатационных характеристик (рис. 6);
- переработали конструкцию ковша шагающего экскаватора ЭШ 40/85, работающего на разрезе Тугнуйский (СУЭК), с целью улучшения прочностных характеристик. В конструкции применены элементы, позволяющие увеличить показатели износостойкости: заменены щеки из листового проката на литые элементы из высокопрочной износостойкой стали. Изменения конструкции основаны на результатах выполненных расчетов на прочность с учетом максимальной нагрузки элементов ковша, применении 3D моделирования (рис. 7), что позволяет гарантировать безотказную эксплуатацию рабочего оборудования при соответствующих режимах и условиях работы экскаватора.

На сегодняшний день ряд предприятий Республики Казахстан, а именно АО «ССГПО», АО «Алюминий Казахстана», АО «Шубарколь комир» (ERG), Arcelor Mittal, АО «Казфосфат», ТОО «Богатырь Комир», Корпорация «Казахмыс» уже сотрудничают с АО «ЭКГСервис» в части закрытия потребностей в запасных частях и комплектующих к горной технике и оборудованию. Специалисты компании АО «ЭКГСервис» готовы принять участие в решении вопросов поддержания работоспособности имеющихся горных машин в состоянии, позволяющим достигать намеченные плановые показатели.

В настоящее время у компании АО «ЭКГСервис» есть необходимый потенциал: достаточный опыт, производ-



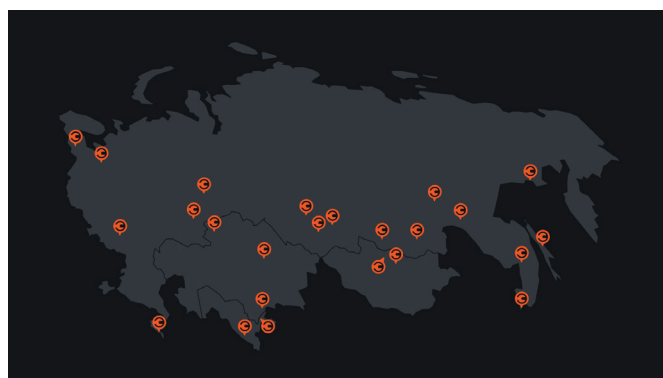
**Рис. 6. Гусеничная рама экскаватора ЭКГ-10 на площадке изготовителя**



**Рис. 7. 3D моделирование ковша шагающего экскаватора ЭШ 40/85**

ственные мощности, техническая база, собственный конструкторский отдел, возможность взаимодействия с научно-исследовательскими институтами. Реализуя Проекты по изготовлению и поставке оборудования, комплектующих и запасных частей на горнодобывающие предприятия, используя существующие возможности, есть все шансы, чтобы этот потенциал раскрыть.

В компании разработана стратегия развития до 2030 года. Она основана на развитии технологической базы, на применении последних достижений науки, техники и технологий. Политика предприятия нацелена на достижение стратегических целей и удовлетворение потребностей Заказчика, основу которой составляют задачи повышения качества изготавливаемой продукции, соблюдение сроков поставки, обеспечение авторского сопровождения и соответствующей гарантий.



**География поставок (карта)**



Код МРНТИ 52.13.21

\*А.С. Турдалиева<sup>1,2</sup>, Б.Р. Ракишев<sup>1</sup>, Р.В. Гаврилко<sup>2</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>ТОО «НПП «Интеприн» (г. Алматы, Казахстан)

## РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОПЛОТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено применение низкоплотных ВВ (взрывчатых веществ), используемых для проведения взрывных работ при отработке контурных скважин для обеспечения устойчивости бортов карьера на открытых горных работах. Также рассмотрены особенности детонации низкоплотных ВВ, распределение ударной волны по массиву горной породы и распределению ударной волны по самой колонке заряда ВВ, предлагается альтернативный состав и метод изготовления ВВ для данного вида работ с применением принципиально нового подхода к использованию аммиачно-селитренных ВВ. Результаты исследований позволяют подтвердить преимущество применения низкоплотных ВВ на основе дробленой аммиачной селитры с добавлением значительного количества разуплотняющей добавки как при взрывании контурных скважин, так и при проведении вскрышных взрывных работ.

**Ключевые слова:** низкоплотные взрывчатые вещества, контурное взрывание, дробленый окислитель, технология, изготовление взрывчатых веществ.

### Төмен тығыздықтағы жарылғыш заттар жасау және қолдану

**Андатпа.** Бұл мақалада ашық тау-кен жұмыстарында карьер борттарының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін контурлық ұңғымаларды өңдеу кезінде жарылғыс жұмыстарын жүргізу үшін пайдаланылатын төмен тығыздықтағы ЖЗ қолдану қарастырылған. Сондай-ақ, төмен тығыздықтағы ЖЗ детонациясының ерекшеліктері, тау жыныстарының массиві бойынша соққы толқынының таралуы және ЖЗ зарядының бағанының өзі бойынша соққы толқынының таралуы қарастырылады, аммиак-селитралық ЖЗ-ды қолданудың түбегейлі жаңа тәсілін қолдана отырып, жұмыстың осы түрі үшін ЖЗ жасаудың балама құрамы мен әдісі ұсынылады. Зерттеу нәтижелері контурлық ұңғымаларды жару кезінде де, аршу жару жұмыстарын жүргізу кезінде де қоспытқыш қоспаның едәуір мөлшерін қосып, ұсақталған аммиак селитрасы негізінде төмен тығыздықты ЖЗ қолданудың артықшылығын растауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** төмен тығыздықтағы, жарылғыш зат, контурлық жарылыс, ұсақталған тотықтырғыш, технология, жарылғыш заттардың жасауы.

### Development and application of low-density explosives

**Abstract.** This article discusses the use of low-density explosives used for blasting operations during drilling of contour wells to ensure the stability of the sides of the quarry in open-pit mining. The features of detonation of low-density explosives, the distribution of the shock wave over the rock mass and the distribution of the shock wave over the explosive charge column itself are also considered, and an alternative composition and method of manufacturing explosives for this type of work is proposed, using a fundamentally new approach to the use of ammonium nitrate explosives. The results of the study allow us to confirm the advantage of using low-density explosives based on crushed ammonium nitrate with the addition of a significant amount of decomposition additive both during the blasting of contour wells and during overburden.

**Key words:** low-density explosives, contour detonation, crushed oxidizer, technology, manufacture of explosives.

### Введение

Одним из перспективных направлений ведения щадящих взрывных работ при открытой добыче полезных ископаемых может стать применение низкоплотных ВВ сенсибилизированными легкими малопрочными гранулами, например, гранулами полистирола. Экспериментально доказано, что ВВ, сенсибилизированные гранулами пенополистирола, допускают ручное и механизированное зарядание скважин и несмотря на низкую плотность, сохраняют способность к детонационному разложению ВВ.

ВВ, сенсибилизированные гранулами пенополистирола, позволяют формировать скважинный заряд, практически не подверженный усадке под действием гидростатического давления, а из-за малых плотностей ВВ следует ожидать низкий уровень давления взрывных газов в скважине, что благоприятно влияет на результаты при щадящем взрывании [1].

### Особенности детонации низкоплотных ВВ

Ряд исследований показывает, что в низкоплотных ВВ, полученных при смешении окислителя с горючим с добавлением значительной части разуплотняющей добавки, например, такой как полистирол, возбуждение детонации происходит под действием высокоэнтальпийного газового потока, фильтрующегося из области высокого давления. При этом химическая реакция происходит в форме поверхностного горения частиц ВВ, взаимодействующих с потоком газа, исходящим из области высокого давления. Поток взрывных газов вызывает в воздухе, находящемся между гранулами и разуплотнителем, ударную волну. Данная ударная волна и следующий за ней поток горючих взрывных газов, обтекающих частицы окислителя, приобретает струйный характер (рис. 1). Если данные частицы вспыхнут за время меньше, нежели продолжительность

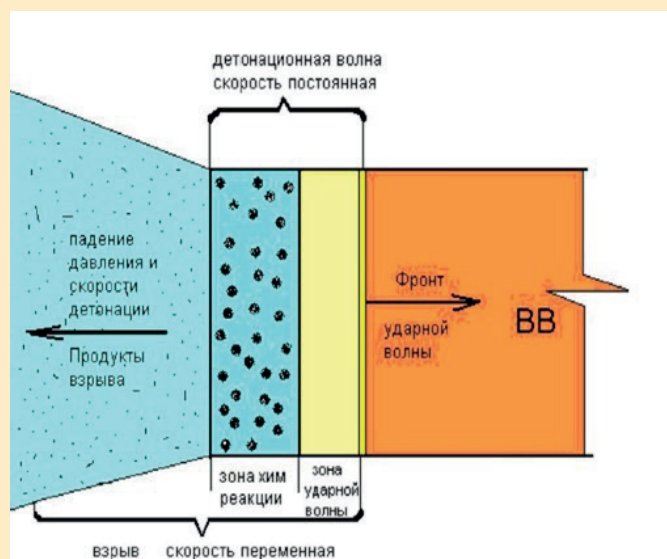
процесса разложения ВВ в зоне активной химической реакции, то распространение взрывного процесса по низкоплотному ВВ будет определяться скоростью распространения данного зажигательного процесса (рис. 2) [2].

Контурное взрывание под названием «гладкое взрывание» начали применять с 50-х годов в Швейцарии. В более широком масштабе оно было применено в 1952–1953 гг. при строительстве гидротехнических сооружений. Суть технологии заключается в бурении и взрывании скважин с уменьшенным зарядом ВВ вдоль линии контура выработки после заряда рыхления [3].

В настоящее время в области контурного взрывания существуют нерешенные задачи, которые представляются актуальными. Решение этих задач целесообразно проводить комплексно на основе моделирования процессов контурного взрывания, используя и совершенствуя методики бурения, а также применяемых составов ВВ [4].

Ранее выполненные исследования в работе И.Ю. Маслова по оценке характеристик плотности ЭВВ (эмульсионных взрывчатых веществ), сенсибилизированных гранулами полистирола, показали, что детонационные процессы ЭВВ при плотностях 0,9 г/см<sup>3</sup> существенно ниже, чем аналогичные показатели для ЭВВ, сенсибилизированные газовыми порами. Показано, что при плотности рассматриваемых ЭВВ более 0,75 г/см<sup>3</sup> возбуждение ВВ осуществляется вследствие разогрева в ударной волне вещества матричной эмульсии при втекании его в коллапсирующие поверхностные поры гранулы полистирола [5].

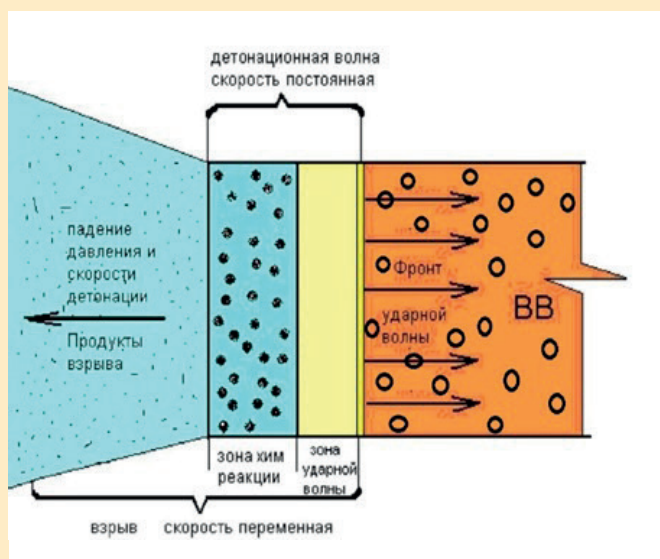
Упомянутые низкоплотные ЭВВ с плотностью менее 0,75 г/см<sup>3</sup>, сенсибилизированные гранулами пенополистирола, представляют значительный интерес для разработки технологий при проведении взрывных работ по заоткоске



**Рис. 1. Распространение фронта ударной волны в ВВ, не имеющих разуплотняющую добавку.**

**Сурет 1. Тығыздағыш қоспасы жоқ жарылғыш заттың соққы толқынының таралуы.**

**Figure 1. Propagation of the shock wave front in explosives without a decompression additive.**



**Рис. 2. Распространение фронта ударной волны в ВВ, имеющих разуплотняющую добавку.**

**Сурет 2. Тығыздағыш қоспалары бар жарылғыш заттардың соққы толқынының таралуы.**

**Figure 2. Propagation of the shock wave front in explosives having decompression additives.**

бортов карьера или при добыче горных пород, содержащих ценные хрупкие включения [6].

В основе своей все проведенные исследования связаны с разуплотнением самой водомасляной эмульсии или смесей на ее основе, что может значительно повлиять на финансово-экономические параметры ВВ, особенно связанные с проведением контурного взрывания, где не требуется применение таких высокотехнологичных составов [7].

Компания ТОО «НПП «Интеррин», занимающая одно из передовых мест в области разработки смесевых промышленных ВВ и оборудования для их производства, имеющая многолетний опыт проведения БВР в разных условиях и с разной степенью сложности залегания геологических масс, занимается разработкой собственных видов промышленных ВВ.

В последнее время на горнодобывающих предприятиях РК все больше внимания уделяется безопасной работе в карьерах, прикарьерной зоне на возможные места обрушения породы с бортов, что требует проведения работ, связанных с созданием безопасного контура уступов на карьере. Также немаловажную роль при проведении данных работ составляют экономические параметры применяемых ВВ.

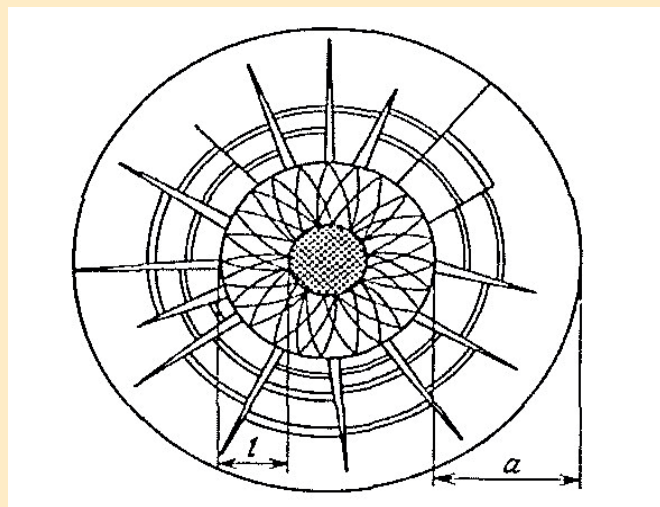
На основании изученного опыта используемых ВВ для контурного взрывания, при щадящем взрывании для вскрышных работ и пород с крепостью менее 12 по шкале Протоdjяконова М.М. компания ТОО «НПП «Интеррин» разработала низкоплотный состав ВВ.

ВВ, получившее название Интерит ДН, относится по условиям применения согласно классификации технического регламента Таможенного Союза «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе» к первому классу – неперехранительные взрывчатые вещества для

взрывания на земной поверхности и предназначен для ручного и механизированного заряжания скважин.

## Предмет исследования

Предметом исследования является низкоплотное ВВ на основе дробленой аммиачной селитры для щадящего взрывания горного массива и контурного взрывания.



**Рис. 3. Схема распределения ударной волны при взрыве ВВ в скважине:  $t$  – зона сжатия (переизмельчения),  $a$  – зона разрыхления.**

**Сурет 3. Ұңғымадағы жарылыс кезінде соққы толқынының таралуы сызбасы:  $t$  – қысу аймағы (қайта ұнтақтау),  $a$  – қопсыту аймағы.**

**Figure 3. Diagram of the shock wave distribution during an explosive explosion in a borehole:  $t$  – is the compression zone (over-grinding),  $a$  – is the loosening zone.**



Удельную энергию ВВ во взрываемом массиве при неизменном объеме бурения можно регулировать объемной энергией заряда, так как часть энергии взрыва расходуется на переизмельчение взрывающей горной массы в месте непосредственного контакта ВВ с породой, вызывая обильное пылеобразование и переизмельчение [8].

Основным источником энергии в составах взрывчатых веществ является аммиачная селитра как наиболее дешевый и доступный окислитель, имеющий насыпную плотность 0,9 г/см<sup>3</sup>, но при этом плотность гранулы составляет 1,4 г/см<sup>3</sup>, выделяя при взрыве 1 кг аммиачной селитры 900 л газа.

Суть применения ВВ Интерит ДН заключается в следующем – использовать дробленую аммиачную селитру в смеси с горючим и разуплотняющей добавкой в виде вспененного пенополистирола. То есть энергию, содержащуюся в самом ВВ, равномерно распределить по всему объему скважины, значительно уменьшив влияние ударной волны в зоне А (рис. 3), тем самым сократив пылеобразование и переизмельчение горной массы в зоне  $t$ .

Для оценки эффективности применения ВВ Интерит ДН можно использовать следующую формулу для расчета объема газа, выделяемого при взрыве [4]:

$$V_g = n \times V_{\text{гранулы}}, \quad (1)$$

где  $V_g$  – общий объем газа, выделяемого при взрыве;

$n$  – количество гранул в 1 кг аммиачной селитры;

$V_{\text{гранулы}}$  – объем газа, выделяемого одной гранулой.

Известно, что 1 кг аммиачной селитры выделяет 900 л газа. Определим количество гранул в 1 кг, учитывая их плотность:

$$n = \frac{m}{p \cdot v},$$

где  $m$  – масса аммиачной селитры (1 кг);

$p$  – плотность гранулы аммиачной селитры (1,4 г/см<sup>3</sup>).

Объем одной гранулы можно выразить через ее насыпную плотность:

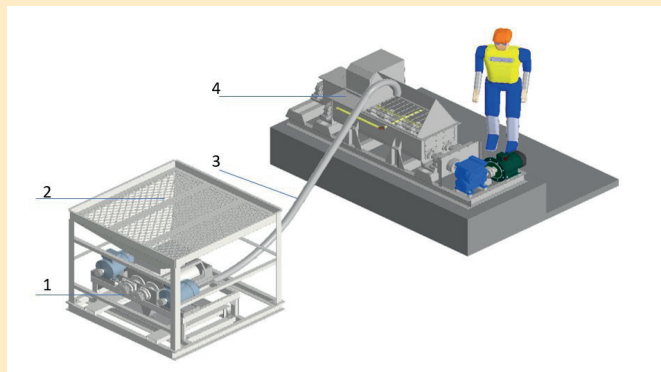
$$V = \frac{1}{p} = \frac{1}{1,4} = \frac{1}{1400} = 0,000714 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Таким образом, при взрыве 1 кг аммиачной селитры выделяется 0,714 м<sup>3</sup> газа. Это соответствует объему 714 л, что близко к заявленным 900 л (разница обусловлена упрощением расчетов и фактическими условиями).

Пример использования дробленой аммиачной селитры в смеси с горючим и разуплотняющей добавкой показывает, как энергия, содержащаяся в самом ВВ, может быть равномерно распределена по всему объему скважины, что позволяет снизить влияние ударной волны и улучшить контроль над процессом взрыва, уменьшая переизмельчение горной массы [9].

Технология изготовления заключается в следующем (рис. 4). На валковую дробилку (1) из бункера (2) подается гранулированная аммиачная селитра, проходя через валки с регулируемым зазором попадает в спиральный конвейер (3), по шнековому транспортеру аммиачная

селитра попадает в дозатор, при заполнении которого дробилка и шнек отключаются автоматически. Из дозатора АС подается в смеситель (4), после чего в него подается необходимое количество горючего и разуплотняющей добавки, смешивается и фасуется в мешки.



**Рис. 4. Схема изготовления Интерита ДН.**  
**Сурет 4. Ұнтақталған потрондалмаған Интериттің жасалу схемасы.**  
**Figure 4. Manufacturing scheme of Crushed, non-tinned Interit.**

Структура насыпных гранулированных зарядов предполагает случайность пространственного распределения гранул ВВ и разуплотняющей добавки, а также неравномерное покрытие гранул аммиачной селитры горючим. Поэтому фронт детонационной волны непременно будет неоднородным и на поверхности гранул неизбежны в том числе и конвективные явления, где конвективное горение переходит в низкоскоростную детонацию [9]. Исследования показывают, что исключение составила смесь тонкоизмельченного нитрита аммония, для которой горение завершилось взрывом с резкими колебаниями давления и температуры [10].

Присутствие в составе ВВ дробленого окислителя в разы увеличивает площадь контракта, соприкосновение окислителя и горючего тем самым дает возможность полностью вступить в химическую реакцию взрывного превращения компонентов ВВ с выделением меньшего количества ядовитых газов, нежели чем при использовании гранулированных ВВ, где химическая реакция в основном протекает на поверхности гранул с поледующим переходом во взрывное горение.

Также использование Интерита ДН за счет применения дробленого окислителя в совокупности с пенополистиролом позволяет равномерно перераспределить ВВ по всему объему скважины, значительно сократив высоту недозаряда, но сохраняя расчетный удельный расход ВВ, что позволяет значительно снизить выход негабарита и не нарушить целостность борта карьера [10].

**Проведение полигонных испытаний на предмет зависимости скорости детонации от плотности ВВ**

Для проведения полигонных испытаний были взяты 4 состава ВВ с содержанием пенополистирола 20, 30, 40, 50% на основе дробленой аммиачной селитры с дизельным топливом в соотношении 95% – аммиачная селитра, 5% – дизельное топливо.

Замер скорости детонации проводился при помощи прибора ИСД-1 (рис. 5). Испытание проводилось в металлических трубах диаметром 100 мм, длиной 1500 мм (рис. 6).



**Рис. 5. Измеритель скорости детонации ИСД-01.**  
**Сурет 5. Детонация жылдамдығын өлшегіш.**  
**Figure 5. Knock velocity meter.**



**Рис. 6. Заряд ВВ с подключенными датчиками.**  
**Сурет 6. Датчиктер қосылған жарылғыш заряд.**  
**Figure 6. Explosive charge with connected sensors.**

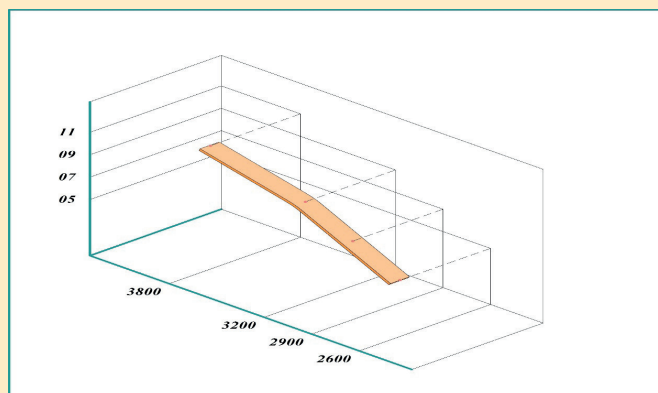
**Таблица 1**  
**Результаты замера скорости детонации**

**Table 1**  
**Results of measuring detonation velocity**

**Кесте 1**  
**Детонация жылдамдығын өлшеу нәтижелері**

| Содержание полистирола (%) | Плотность ВВ (г/см <sup>3</sup> ) | Скорость детонации (м/с) |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 20                         | 1,1                               | 3800                     |
| 30                         | 0,9                               | 3200                     |
| 40                         | 0,7                               | 2900                     |
| 50                         | 0,5                               | 2600                     |

Из проведенных замеров скорости детонации получена прямо пропорциональная зависимость падения скорости детонации от плотности (рис. 7). То есть, данный состав является универсальным, подстраиваемым под широкий спектр задач, таких как взрывание обычных блоков, для щадящего взрывания горного массива, а также для контурного взрывания в целях достижения максимального приближения фактического профиля выработок к проектному при соблюдении сохранности окружающего массива горных пород.



**Рис. 7. Зависимость скорости детонации от плотности ВВ.**

**Сурет 7. Детонация жылдамдығының жарылғыш тығыздығына тәуелділігі.**

**Figure 7. Dependence of detonation speed on explosive density.**

Из табличных данных видно, что ВВ Интерит ДН по своим физико-химическим характеристикам ничем не уступает применяемому штатным ВВ в горнодобывающей промышленности, что подтверждает широкий спектр его применения для выполнения разных задач. Регулируя плотность ВВ Интерит ДН количеством вводимого пенополистирола, можно изготавливать ВВ с плотностью от 1,1 г/см<sup>3</sup> до 0,6 г/см<sup>3</sup>, что придает этому составу универсальность.

Также за счет применения в составе дробленой аммиачной селитры не происходит сегрегация (разделение частиц) между частицами аммиачной селитры и гранулами



Таблица 2

Сравнительные характеристики неводостойчивых промышленных ВВ

Кесте 2

Өндірістік жарылғыш заттардың салыстырмалы сипаттамасы

Table 2

Comparative characteristics of non-waterproof industrial explosives

| Наименование ВВ   | Кислородный баланс, % | Теплота взрыва, кДж/кг | Плотность ВВ, г/см <sup>3</sup> | Объем газов, л/кг | Скорость детонации, м/с |
|-------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Интерит ДН 20% ПП | -2                    | 3680                   | 1,1                             | 989               | 3800                    |
| Гранулит А6       | -1,2                  | 4400                   | 0,9                             | 880               | 4000                    |
| Игдарин ЭГ        | +0,1                  | 3600                   | 0,9                             | 948               | 3800                    |
| Игдарин ЭГА       | +0,44                 | 3900                   | 0,9                             | 925               | 4000                    |
| Игданит           | 0                     | 3700                   | 1                               | 980               | 2700                    |
| Интерит 20        | -1,9                  | 3400                   | 1,1                             | 970               | 3900                    |

пенополистирола. А так как скорость детонации ВВ в основном прямо пропорциональна его плотности, в результате уменьшения плотности достигается не только уменьшение концентрации энергии взрыва в единице объема, но и уменьшается скорость этого энергосвободения.

#### Заклучение

В ходе исследования получен состав на основе дробленой аммиачной селитры, горючего и вспененного полистирола. Испытания показали хорошую эффективность применения данного состава при контурном взрывании и при проведении вскрышных взрывных работ с крепостью породы меньше 12 по шкале М.М. Протоdjаконова. Необходимо отметить экономическую

составляющую применения данного состава, где 30% аммиачной селитры заменено разуплотняющей добавкой в виде полистирола. Все это позволяет с уверенностью говорить об эффективности и безопасности применения Интерита ДН на горнорудных предприятиях Республики Казахстан при проведении вскрышных и контурных взрывных работ.

Заклучение нашего исследования подчеркивает важность внедрения инновационных технологий в горнодобывающей отрасли. Использование данного состава не только повышает эффективность взрывных работ, но и снижает затраты на материалы. Кроме того, применение полистирола в качестве добавки способствует улучшению экологической безопасности процессов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование и производство массовых взрывов на карьерах: Алматы, Гылым, 2016, С. 59–72 (на русском языке)
2. Основы горного дела: учебник. / М.Ж. Битимбаев, Т. Кабетенев. Ассоциация высших учебных заведений РК, Алматы, 2011, С. 47–53 (на русском языке)
3. Юношев А.С. Скорость детонации эмульсионного вещества, сенсibilизированного полимерными микросферами. / А.С. Юношев, А.В. Пластинин, С.И. Рафeyчик. // Физика горения и взрыва. 2017. Т. 53. № 6. С. 132–137 (на русском языке)
4. Маслов И.Ю. Низкоплотные эмульсионные взрывчатые вещества: определение и особенности детонации. / И.Ю. Маслов, С.А. Горинов. // Горный журнал. 2017. № 8. С. 72–78 (на русском языке)
5. Юношев А.С. Влияние искусственных пор на параметры детонации эмульсионных взрывчатых веществ. / А.С. Юношев, В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, С.И. Рафeyчик. // Физика горения и взрыва. 2007. Т. 57. № 2. С. 89–93 (на русском языке)
6. Уткан А.В. Неустойчивость детонационных волн в нитрометане. / А.В. Уткан, В.М. Моголова, С.И. Торунов, С.А. Колдунов. // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51. № 4. С. 43–45 (на русском языке)
7. Круз К. Эволюция полости в дисперсии частиц. / К. Круз, Д.М. Фариа. // Физика жидкостей. 2020. Т. 34. № 7. С. 13–15 (на английском языке)
8. Браун А. О кинетике химических реакций на фронте детонации. / А. Браун, Дж. Смит. // Физика жидкостей. 2018. Т. 34. № 8. С. 26–28 (на английском языке)
9. Ван Т. Детонационные свойства эмульсионных взрывчатых веществ различной плотности. / Т. Ван, Ю. Чжао. // Журнал энергетических материалов. 2019. Т. 37. № 4. С. 451–463 (на английском языке)

10. Джонсон М. Влияние размера частиц на детонационные характеристики взрывчатых веществ низкой плотности. / М. Джонсон, Р. Дэвис. // Журнал прикладной физики. 2021. Т. 129. № 12. С. 72–79 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Рақышев Б.Р. Карьерлердегі жаппай жарылыстарды автоматтандырылған жобалау және өндіру: Алматы, Ғылым, 2016, Б. 59–72 (орыс тілінде)
2. Тау-кен ісі негіздері: оқулық. / М.Ж. Битимбаев, Т. Кабетенов. ҚР жоғары оқу орындарының қауымдастығы, Алматы, 2011, Б. 47–53 (орыс тілінде)
3. Юношев А.С. Полимерлі микросфералармен сенсбилизацияланған эмульсиялық заттың детонация жылдамдығы. / А.С. Юношев, А.В. Пластинин, С.И. Рафейчик. // Жану және жарылыс физикасы. 2017. Т. 53. № 6. Б. 132–137 (орыс тілінде)
4. Маслов И.Ю. Төмен тығыздықтағы эмульсиялық жарылғыш заттар: детонацияның анықтамасы мен ерекшеліктері. / И.Ю. Маслов, С.А. Горинов. // Тау журналы. 2017. № 8. Б. 72–78 (орыс тілінде)
5. Юношев А.С. Жасанды кеуектердің эмульсиялық жарылғыш заттардың детонация параметрлеріне әсері. / А.С. Юношев, В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, С.И. Рафейчик. // Жану және жарылыс физикасы. 2007. Т. 57. № 2. Б. 89–93 (орыс тілінде)
6. Уткан А.В. Нитрометандағы детонациялық толқындардың тұрақсыздығы. / А.В. Уткан, В.М. Моголова, С.И. Торунов, С.А. Колдунов. // Жану және жарылыс физикасы. 2015. Т. 51. № 4. Б. 43–45 (орыс тілінде)
7. Круз К. Бөлшектердің дисперсиясындағы қуыс эволюциясы. / К. Круз, Д.М. Фариа. // Сұйықтық физикасы. 2020. Т. 34. № 7. Б. 13–15 (ағылшын тілінде)
8. Браун А. Детонация майданындағы химиялық реакциялардың кинетикасы туралы. / А. Браун, Дж. Смит. // Сұйықтық физикасы. 2018. Т. 34. № 8. Б. 26–28 (ағылшын тілінде)
9. Ван Т. Әр түрлі тығыздықтағы эмульсиялық жарылғыш заттардың детонациялық қасиеттері. / Т. Ван, Ю. Чжао. // Энергетикалық материалдар журналы. 2019. Т. 37. № 4. Б. 451–463 (ағылшын тілінде)
10. Джонсон М. Төмен тығыздықтағы жарылғыш заттардың детонациялық сипаттамаларына бөлшектер мөлшерінің әсері. / М. Джонсон, Р. Дэвис. // Қолданбалы физика журналы. 2021. Т. 129. № 12. Б. 72–79 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Rakishev B.R. Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstvo massovykh vzryvov na kar'erakh: Almaty, Gylym, 2016, S. 59–72 [Rakishev B.R. Computer-aided design and production of mass explosions in quarries. Theory of rock mass destruction by explosion: Almaty, Gylym, 2016, P. 59–72] (in Russian)
2. Osnovy gornogo dela: uchebnik. / M.Zh. Bitimbaev, T. Kabetenov. Assotsiatsiya vysshikh uchebnykh zavedenii RK, Almaty, 2011, S. 47–53 [Fundamentals of mining: textbook. / M.J. Bitimbayev, T. Kabetenov. Association of Higher Educational Institutions of the Republic of Kazakhstan, Almaty, 2011, P. 47–53] (in Russian)
3. Yunoshev A.S. Skorost' detonatsii emul'sionnogo veshchestva, sensibilizirovannogo polimernymi mikrosferami. / A.S. Yunoshev, A.V. Plastinin, S.I. Rafeichik. // Fizika goreniya i vzryva. 2017. T. 53. № 6. S. 132–137 [Yunoshev A.S. Detonation rate of emulsion substance sensitized by polymer microspheres. / Yunoshev A.S., Plastinin A.V., Rafeichik S.I. // Physics of combustion and explosion. 2017. V. 53. № 6. P. 132–137] (in Russian)
4. Maslov I.Yu. Nizkoplotnye emul'sionnye vzryvchatye veshchestva: opredelenie i osobennosti detonatsii. / I.Yu. Maslov, S.A. Gorinov. // Gornyi zhurnal. 2017. № 8. S. 72–78 [Maslov Y.U. Low density emulsion explosives: definition and features of detonation. / Maslov Y.U., Gorinov S.A. // Mining magazine. 2017. № 8. P. 72–78] (in Russian)
5. Yunoshev A.S. Vliyaniye iskustvennykh por na parametry detonatsii emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv. / A.S. Yunoshev, V.V. Sil'vestrov, A.V. Plastinin, S.I. Rafeichik. // physics of combustion and explosion. 2007. T. 57. № 2. S. 89–93 [Molodev A.S. The effect of artificial pores on the detonation parameters of emulsion explosives. / Molodev A.S., Silvestrov V.V., Plastinin A.V., Rafeichik S.I. // Physics of combustion and explosion. 2007. V. 57. № 2. P. 89–93] (in Russian)
6. Utkan A.V. Neustoichivost' detonatsionnykh voln v nitrometane. / A.V. Utkan, V.M. Mogalova, S.I. Torunov, S.A. Koldunov. // Fizika goreniya i vzryva. 2015. T. 51. № 4. S. 43–45 [Utkan A.V. Instability of detonation waves in nitromethane. / Utkan A.V., Mochalova V.M., Torunov S.I., Koldunov S.A. // Physics of combustion and explosion. 2015. V. 51. № 4. P. 43–45] (in Russian)
7. Cruz C. Evolution of the cavity in a particle dispersion. / Cruz C., Faria D.M. // Physics of Fluids. 2020. V. 34. № 7. P. 13–15 (in English)



8. Brown A. On the kinetics of chemical reactions at the detonation front. / Brown A., Smith J. // *Physics of Fluids*. 2018. V. 34. № 8. P. 26–28 (in English)
9. Wang T. Detonation properties of emulsion explosives with different densities. / Wang T., Zhao Y. // *Journal of Energetic Materials*. 2019. V. 37. № 4. P. 451–463 (in English)
10. Johnson M. Influence of particle size on the detonation characteristics of low-density explosives. / Johnson M., Davis R. // *Journal of Applied Physics*. 2021. V. 129. № 12. P. 72–79 (in English)

#### Сведения об авторах:

**Турдалиева А.С.**, магистр технических наук, докторант 2-го курса кафедры «Горное дело» Satbayev University, инженер-технолог, ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин» (г. Алматы, Казахстан), [altynaiym.turdaliyeva@interrin.kz](mailto:altynaiym.turdaliyeva@interrin.kz); <https://orcid.org/0009-0001-2919-3518>

**Ракишев Б.Р.**, д.т.н., профессор кафедры «Горное дело», академик НАН РК, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [b.rakishev@satbayev.university](mailto:b.rakishev@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-5445-070X>

**Гаврилко Р.В.**, главный технолог, ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин» (г. Алматы, Казахстан), [roman.gavrilko@interrin.kz](mailto:roman.gavrilko@interrin.kz); <https://orcid.org/0009-0001-8688-2651>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

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

**Ракишев Б.Р.**, т.ғ.д., «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, ҚР ҰҒА академигі, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Гаврилко Р.В.**, бас технологы, ЖШС «Ғылыми-өндірістік кәсіпорны «Интеррин» (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Turdaliyeva A.S.**, Master of Technical Sciences, 2nd year doctoral student of the Mining Department, technological engineer, «Scientific and Production Enterprise «Interrin» LLP (Almaty, Kazakhstan)

**Rakishev B.R.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Mining Department, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Gavrilko R.V.**, Chief Technologist, «Scientific and Production Enterprise «Interrin» LLP, (Almaty, Kazakhstan)

XXXIII Международная специализированная  
выставка технологий горных разработок

# УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ



XV Международная специализированная выставка

## ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

X Международная специализированная выставка

## НЕДРА РОССИИ

VI Специализированная выставка

## ПРОМТЕХЭКСПО

**3-6 июня 2025**



#### МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

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

ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС!  
ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!







XX-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР

Ufi  
Approved  
Event



# Mining Week

KAZAKHSTAN' 2025

24-26.06.2025

[КАРАГАНДА] [КАЗАХСТАН]



ТОО «TNT EXPO»

+7 (727) 344 00 63

[mintek@tntexpo.kz](mailto:mintek@tntexpo.kz)

[mining.week.kazakhstan](https://mining.week.kazakhstan)



MININGWEEK.KZ



Код МРНТИ 52.13.25

D.R. Akhmatnurov, \*N.M. Zamaliyev, V.F. Demin, N.Y. Ganyukov

NJSC «Karaganda State Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

## MODELING THE STABILITY OF MINING EXCAVATIONS

**Abstract.** The study focuses on modeling the stress-strain state of mine workings with anchor support under various seam dip angles and excavation shapes. The conditions of seam K10 at the «Abayskaya» mine of Qarmet's mining division are considered. Numerical simulations were conducted using the ANSYS software package. The research examines the influence of excavation geometry and coal seam dip angle on stress distribution within the rock mass. The objective is to optimize support parameters to ensure the stability and safety of mine workings. The results highlight the importance of accounting for geological factors and excavation geometry in the design of supports under complex mining and geological conditions.

**Key words:** mine workings, stress-strain state of anchor support, excavation shape stability, mining safety, stress modeling, near-contour rock mass, geomechanics.

### Тау-кен жұмыстарының тұрақтылығын модельдеу

**Аннотация.** Зерттеу әртүрлі құлау бұрыштары мен қазба пішіндеріндегі анкерлік бекітпемен тау-кен қазбаларының кернеулі-деформацияланған күйін модельдеуге арналған. Qarmet тау-кен бөлімшесінің «Абайская» шахтасының K10 қабат жағдайлары қарастырылған. Талдау үшін ANSYS бағдарламалық кешенін пайдаланып, сандық модельдеу жүргізілді. Зерттеуде қазбаның геометриясы мен көмір қабатының құлау бұрышының кернеулердің таралуына әсері қарастырылды. Зерттеудің мақсаты – қазбалардың тұрақтылығын қамтамасыз ету және қауіпсіздігін арттыру үшін бекіту параметрлерін оңтайландыру. Алынған нәтижелер күрделі тау-геологиялық жағдайларда бекітуді жобалау кезінде геологиялық факторлар мен қазба пішінін ескеру маңыздылығын көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** тау-кен қазбалары, анкерлік бекітпедегі кернеулі-деформацияланған күй, қазба пішінінің тұрақтылығы, тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігі, кернеулерді модельдеу, контур маңы массиві, геомеханика.

### Моделирование устойчивости горных выработок

**Аннотация.** Исследование посвящено моделированию напряженно-деформированного состояния горных выработок с анкерным креплением при различных углах падения пласта и формах выработки. Рассмотрены условия пласта K10 шахты «Абайская» горнорудного дивизиона Qarmet. Для анализа использовано численное моделирование с применением программного комплекса ANSYS. В работе изучается влияние геометрии выработки и угла падения угольного пласта на распределение напряжений в породах. Целью исследования является оптимизация параметров крепления для обеспечения устойчивости и повышения безопасности выработок. Полученные результаты демонстрируют значимость учета геологических факторов и формы выработок при проектировании крепей в сложных горно-геологических условиях.

**Ключевые слова:** горные выработки, напряженно-деформированное состояние анкерной крепи, стабильность формы выемки, безопасность горных работ, моделирование напряжений, горные выработки, приконтурный массив пород, геомеханика.

### Introduction

One of the key issues in mining is ensuring the stability of underground excavations, which directly impacts the safety of workers and the efficiency of mining operations. In a study dedicated to modeling the stress-strain state of mining workings, the Finite Element Method (FEM) was employed using the ANSYS software package to analyze the rock mass. The primary focus was on modeling the conditions of the «Abayskaya» mine, where different dip angles of layers and shapes of excavations were considered. The obtained results showed that the geometry of the excavations significantly affects the stress distribution, with the rectangular shape of the excavation with anchor support being preferred in complex geotechnical conditions.

A similar study was conducted by Dimitrienko Y.I. and Yurin Y.V. in their work «Finite Element Modeling of the Stress-Strain State of Rocks Considering Creep» [1]. This work used a finite element algorithm to solve the three-dimensional problem of rock creep. The primary focus was on creating a 3D computer model to analyze stresses under varying exposure times. These results highlight the importance of considering temporal factors when designing supports.

An interesting addition is the work performed at the Don State Technical University, titled «Stability of Rock Exposures in Mining Workings» [2]. The study focuses on assessing the stability of rock exposures at the contours of mining workings, as well as proposing engineering methods for calculating stability. These methods can be useful when developing support parameters for complex geotechnical conditions.

Furthermore, a study conducted at the Kuzbass State Technical University is dedicated to the influence of geomechanical factors on the stability of rock masses and methods for their optimization [3]. The authors proposed improved methods for

designing support systems, emphasizing the interaction between geomechanical parameters and reinforcement technologies.

Thus, the research on modeling the stress-strain state of mining workings complements the existing scientific literature, confirming the importance of excavation geometry and support systems for enhancing the stability of mining workings. A comparison with similar studies shows that the use of numerical modeling methods such as FEM allows for detailed analysis and optimization of support parameters in complex geological conditions.

### Research Methods

The study utilized the Finite Element Method (FEM) in the ANSYS software suite for numerical modeling of the stress-strain state of the rock mass. The initial data for the modeling consists of the geometric parameters of the K10 seam at the «Abayskaya» mine, including the depth (400 m), thickness of the coal seam (3.8 m), and the physical-mechanical properties of the enclosing rocks obtained from geological and engineering surveys.

The model takes into account the behavior of the rock mass in the conditions of the given excavation geometry (arch-shaped and rectangular) and various dip angles of the seam (from 10° to 50°). Two-dimensional elasticity theory was used for modeling, which is due to the relatively short deformation period of the rock mass during the advancement of the excavation.

Previously, the authors conducted a series of studies on the modeling of rock mass behavior in Kazakhstani mines using similar approaches, the results of which were published in the work by Zhakypova A.B. «Geomechanics in the Mining Industry» [4]. This study further develops these approaches, with

particular attention to the influence of excavation geometry and dip angles on stress distribution.

### Results and Discussion

Numerical modeling showed that the shape of the excavation and the dip angle of the seam significantly influence the stress distribution within the rock mass. The main focus was on analyzing normal, longitudinal, and shear stresses for both arch-shaped and rectangular excavation profiles at dip angles ranging from 10° to 50°.

For the arch-shaped cross-section of the excavation, normal stresses increase exponentially with the rise in dip angle, reaching 13.5 MPa at the maximum dip angle (50°) (Figure 1a). This is explained by the concentration of stresses at the upper part of the excavation due to its curved shape, which intensifies the localized load on the support system. In contrast, the rectangular cross-section demonstrates a more uniform distribution of normal stresses: values increase from 1.2 to 3.5 MPa as the dip angle rises, then stabilize (Figure 1b). This uniformity is explained by the absence of bends and the even distribution of load across the flat surfaces. The rectangular shape reduces the concentration of normal stresses and decreases the load on the support system, making it more stable under complex geo-mining conditions.

Longitudinal stresses ( $\sigma$ ) depend on the dip angle and the shape of the excavation. For the arch-shaped profile, values increase from 63.2 to 64.1 MPa as the dip angle rises, then stabilize (Figure 2a). In the rectangular profile, stresses vary from 49 to 53.4 MPa, and then decrease to 52 MPa with further increases in the dip angle (Figure 2b). This indicates lower stress levels in the rectangular section, which is associated with a simpler stress distribution across the flat surfaces of the excavation. The rectangular shape ensures lower longitudinal stresses, contributing to its overall stability.

Shear stresses ( $\tau$ ) show a complex dependence on the dip angle. For the arch-shaped profile, they initially decrease from 50° to 33 MPa but then increase again to 37 MPa at higher angles (Figure 3a). In the rectangular profile, the values remain lower and more stable (Figure 3b), due to the absence of curved sections that would create additional loads. Despite the advantages of the rectangular shape, its stability may decrease in the presence of geological disturbances such as cracks or uneven load distribution on the support system.

Comparative analysis shows that the rectangular shape of the excavation is preferable in terms of reducing the concentration of normal, longitudinal, and shear stresses. This confirms its suitability for complex geo-mining conditions, such as the K10 seam at the «Abayskaya» mine. The results can be explained by the specific stress distribution within the rock mass. The arch-shaped profile creates zones of concentration due to the curvature of the excavation, which increases local loads. In contrast, the rectangular shape allows for a more even distribution of loads across the entire surface, reducing the likelihood of structural failure. However, its effectiveness may decrease if cracks or other defects in the rock mass occur.

The obtained results emphasize the importance of selecting the correct excavation geometry and support parameters to increase the stability and safety of mining operations. The rectangular excavation shape not only reduces the load on the

support system but also lowers the costs associated with its design and operation. This is of significant importance for the planning and optimization of mining activities in areas with complex geological sections.

The findings of this study are in agreement with the conclusions made by Zhakypova [4], which highlighted the importance of selecting the excavation geometry to manage the stress state of the rock. Furthermore, the data showing the reduction in stress concentration for the rectangular shape align with the results of Zhang et al. (2021) and Lee et al. (2018). This underscores the universality of the conclusions and confirms the practical applicability of the proposed approach. However, the modeling was based on a two-dimensional analysis, which is a limitation of the study. For a deeper understanding, three-dimensional modeling is recommended, along with the inclusion of temporal factors such as rock creep, and investigations in fractured rock mass conditions.

### Theoretical Foundations of the Problem

The theoretical basis of this study is grounded in the principles of geomechanics and the mechanics of rock masses, particularly in the theories of elasticity and the analysis of the stress-strain state of rock masses under various loading conditions. These aspects are comprehensively discussed in the work of Ryl'nikova M.V. and Zoteev O.V. «Geomechanics», which describes the mechanical properties of rock masses and approaches to assessing the stress state of rock formations [5].

To model the complex distribution of stresses in mine workings, the Finite Element Method (FEM) is used, which has been successfully applied in the work of Dimitrienko Y.I. and Yuriev Y.V. for the analysis of three-dimensional stresses and deformations in rock masses [6].

Figure 1 illustrates the distribution of normal stresses (Figure 1a) and longitudinal stresses (Figure 1b) for the arch-shaped excavation profile at various seam dip angles. The results of the analysis show that normal stresses (Figure 1a) increase exponentially with the rise in dip angle, reaching a maximum value of 13.5 MPa. Meanwhile, longitudinal stresses (Figure 1b) increase to 64.1 MPa before stabilizing. These results emphasize the necessity of considering the impact of the dip angle when designing the support system.

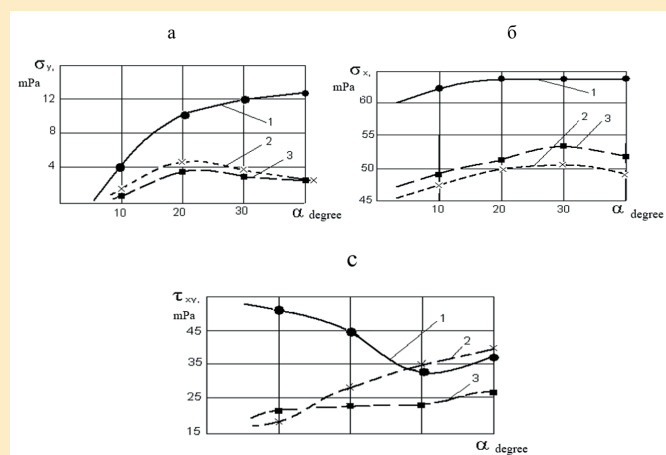
Figure 2 presents a more comprehensive analysis of stress distribution for different excavation profiles (arch-shaped, rectangular, and polygonal). The following data are shown in Figure 2:

- Figure 2a: Distribution of normal stresses
- Figure 2b: Longitudinal stresses
- Figure 2c: Shear stresses
- Figure 2d: Stress distribution in the contour zone
- Figures 2e and 2f: Stress maps in the surrounding rock mass

The analysis shows that the rectangular shape of the excavation leads to lower concentrations of normal and longitudinal stresses (Figures 2a, 2b), as well as more even distribution of shear stresses (Figure 2c). In the stress maps (Figures 2e, 2f), it is evident that the rectangular shape ensures a more stable rock mass state compared to the arch-shaped and polygonal profiles.



Thus, the study confirms the importance of selecting the appropriate geometry of the excavation and the support parameters to reduce the risks of rock failure and improve the stability of mine workings. The results are a significant contribution to the theory and practice of designing support systems in complex geo-mining conditions.



**Figure 1. Influence of Roadway Shape and Seam Dip Angle on Maximum Stress Magnitudes in the Rock Mass with Anchor Support:** (a) Normal stresses, (b) Longitudinal stresses, (c) Shear stresses; 1 – Arched, 2 – Polygonal, 3 – Rectangular.

**Сурет 1. Кен қазбасының пішіні мен қабаттың еңіс бұрышының әсері:** максималды қалыпты (а), бойлық (б), жанама (в) кернеулердің мәніне тау жыныстары массивінде анкерлік бекітуді қолдану кезінде; 1 – аркалық, 2 – көпбұрышты, 3 – тікбұрышты.

**Рис. 1. Влияние вида формы выработки и угла падения пласта на величину:** максимальных нормальных (а), продольных (б), касательных (в) напряжений в массиве пород при анкерном креплении выработки; 1 – арочная, 2 – полигональная, 3 – прямоугольная.

#### Analysis of Stress Distribution for Arch-Shaped Excavation Profile

For the arch-shaped cross-section of the mine working, normal stresses increase with the rise in the dip angle of the seam, following an exponential function, ranging from 10 MPa to 13.5 MPa (Figure 1). These results demonstrate that the dip angle of the seam has a significant impact on the distribution of normal stresses, creating stress concentration zones in the surrounding rock mass, particularly in the contour zone.

Thus, the arch-shaped excavation profile leads to an increase in normal stresses, necessitating additional measures to ensure the stability of the mine working. Further analysis of the stress distribution is conducted by considering longitudinal and shear stresses (Figure 2).

Figure 2 presents the results of the analysis of longitudinal and shear stresses at different dip angles of the seam for the arch-shaped excavation profile. The analysis of longitudinal stresses ( $\sigma$ ) shows that their values increase with the increase in the dip angle of the seam but stabilize after reaching a cer-

tain threshold. In contrast, shear stresses ( $\tau$ ) exhibit more complex dynamics: their values first decrease and then increase again as the dip angle increases.

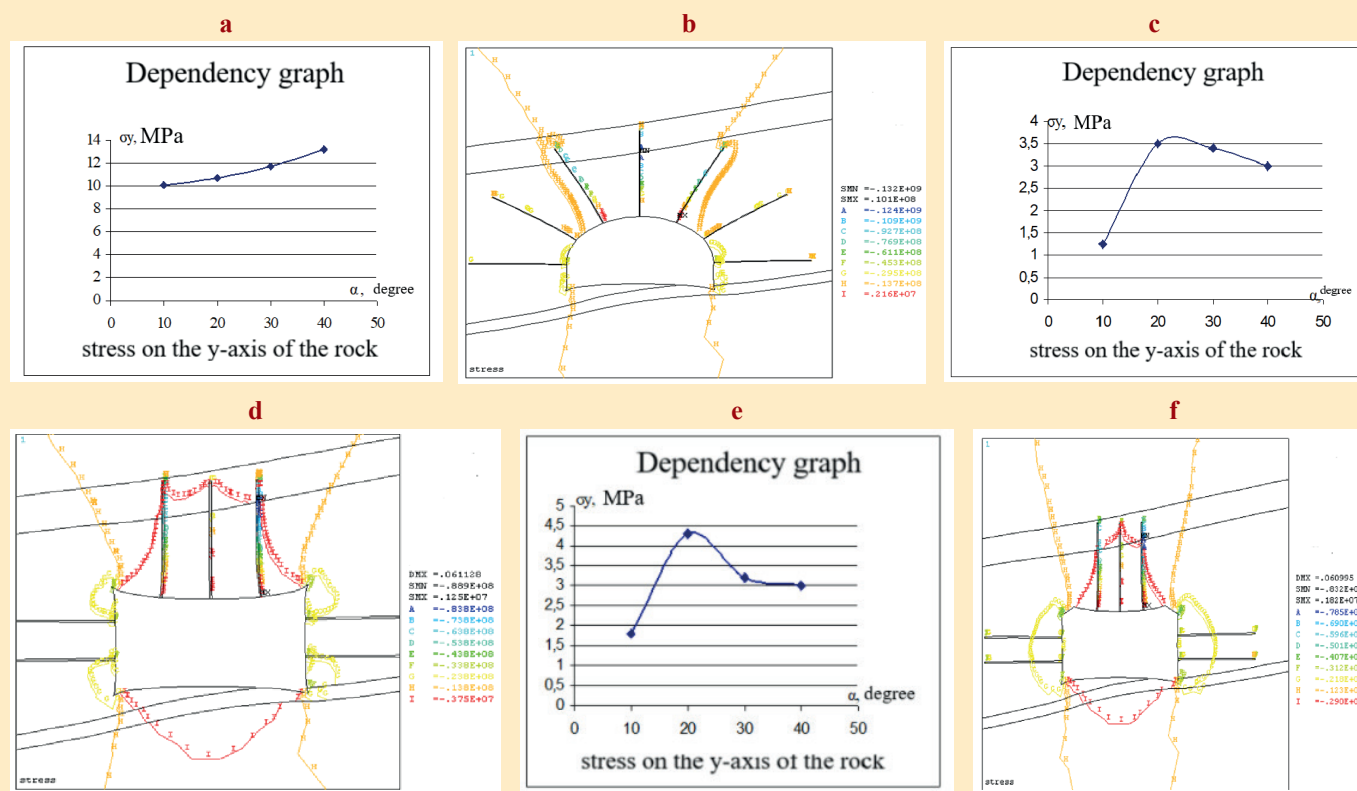
This behavior of stress components emphasizes the need for careful consideration of the seam's dip angle in the design and planning of mine workings, as changes in stress distribution can affect the stability and safety of the excavation. The results suggest that while the arch-shaped profile may be advantageous in some cases, it may also require more rigorous support systems to manage increased stress concentrations effectively.

The analysis of the stress distribution, presented in Figure 2, shows that the shape of the excavation has a significant impact on the mechanical behavior of the rock mass. Figure 2a demonstrates that normal stresses in the rectangular excavation shape are distributed more evenly compared to the arch shape, which reduces local stress concentrations. Figure 2b confirms that longitudinal stresses in the rectangular shape reach lower values than in the arch shape, especially at higher dip angles, improving the overall stability of the structure. Figure 2c presents the distribution of shear stresses, where it is evident that the arch shape is more prone to local concentrations, while the rectangular shape provides a more stable distribution. Figure 2d shows the stress distribution in the surrounding zone of the rock mass, highlighting that higher local stresses occur with the arch shape, which may require additional engineering solutions. The stress contour plots in Figures 2e and 2f confirm that the surrounding rocks experience less stress with the rectangular excavation shape, making it more preferable in complex geological conditions. Thus, the analysis of Figure 2 leads to the conclusion that the rectangular excavation shape reduces the risk of failure, ensures a more uniform load distribution, and is the optimal solution for ensuring the stability of underground workings. For the polygonal excavation shape, the trends in the stress-strain state are similar to those observed for the rectangular shape. The stresses in the polygonal shape are 1.5 times higher, while the pressure is lower by 2–3 MPa and the stress is 1.5–2.0 times higher. The change and distribution of stresses in the zones surrounding the excavation are shown in Figures 2e and 2f. The studies conducted allow us to conclude that the rectangular excavation shape with anchor support in the host rocks is preferable for the conditions of the K10 seam at the «Abayskaya» mine of the Qarmet mining division.

#### Conclusion

The conducted study demonstrates the importance of selecting the geometry of underground workings and support parameters to ensure stability and safety under complex geological conditions. Using numerical modeling with the finite element method (FEM) in the ANSYS software, the distributions of normal, longitudinal, and shear stresses in the rock mass were analyzed for different dip angles and excavation shapes.

The obtained results showed that the rectangular excavation shape provides a more uniform distribution of stresses compared to the arch shape. The rectangular shape reduces the concentration of normal, longitudinal, and shear stresses, making it preferable for the stability of underground workings.



**Figure 2. Distribution of Maximum Stresses in the Surrounding Rock Mass of the Roadway with Shape.**  
**Сурет 2. Кен қазбасының айналасындағы бүйірлік тау жыныстарындағы максималды кернеулердің таралуы.**  
**Рис. 2. Распределение максимальных напряжений в боковых породах, окружающих выработку с формой.**

In contrast, the arch shape creates higher local stresses, which require additional measures to ensure stability.

The practical significance of the study lies in the potential application of the results for designing support systems, which can increase the stability of underground workings and reduce operational costs. The conclusions align with data from previous studies, including works by Zhakypov, Zhang et al., Lee et al., Seryakov V.V., Pytel U., Parchanovich J., Pytel V., Mertsushka P., Jones T., and Paprocki H. [1-10], highlighting the universality of the proposed approach.

However, the study has its limitations. The analysis was based on a two-dimensional model, which does not account for three-dimensional effects and the influence of time (e.g., rock creep). For further development of the topic, it is recommended to conduct three-dimensional modeling, study the influence of rock fracturing, and explore long-term characteristics of the support system.

This research contributes to the development of approaches for designing support systems for underground workings, offering optimal engineering solutions to enhance the stability and safety of mining operations.

### Acknowledgments

*This study was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of the program-targeted funding for the implementation of the scientific and scientific-technical program IRN № BR24993009.*

### REFERENCES

1. Ignatov E.V. Geomekhanicheskie reglamentatsii dlya vybora parametrov elementnoi bazy i ikh realizatsiya v tekhnicheskikh resheniyakh. / E.V. Ignatov, M.A. Tyulenev. // *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2021. № 2 (13). S. 33–63 [Ignatov E.V. Geomechanical regulations for selecting the parameters of the element base and their implementation in technical solutions. / E.V. Ignatov, M.A. Tyulenev. // *Mining equipment and technology*. 2021. №. 2 (13). P. 33–63] (in Russian)
2. Seryakov V.M. Geomekhanicheskoe obosnovanie parametrov tekhnologii otrabotki ugol'nykh plastov v zone vzaimovliyaniya ochistnogo prostranstva i peredovoi vyrabotki. / V.M. Seryakov, S.V. Rib, V.V. Basov, V.N. Fryanov. // *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2018. № 6. S. 21–29 [Seryakov V.M. Geomechanical substantiation of the parameters of coal seam mining technology in the zone of mutual influence of the treatment space and advanced production. / Seryakov V.M., Rib S.V., Basov V.V., Fryanov V.N. // *Physico-technical problems of mining*. 2018. № 6. P. 21–29] (in Russian)



3. Sashurin A.D. Vzaimosvyaz' geomekhaniki i nedropol'zovaniya s pozitsii zakonodatel'nogo opredeleniya termina «Nedra». / A.D. Sashurin, V.V. Mel'nik. // Gornaya promyshlennost'. 2022. № 1. S. 100–104 [Sashurin A.D. Interrelation of geomechanics and subsurface use from the standpoint of the legislative definition of the term «Subsoil». / Sashurin A.D., Melnik V.V. // Mining industry. 2022. № 1. P. 100–104] (in Russian)
4. Trushko V.L. Perspektivy razvitiya geomekhaniki v usloviyakh novogo tekhnologicheskogo uklada. // Zapiski Gornogo instituta. 2019. T. 236. S. 162–166 [Trushko V.L. Prospects for the development of geomechanics in a new technological order. // Notes of the Mining Institute. 2019. V. 236. P. 162–166] (in Russian)
5. Protosenya A.G. Prognoz prostranstvennogo napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya fizicheskoi nelineinogo gruntovogo massiva v prizaboinoi zone tonnelya. / A.G. Protosenya, G.A. Iovlev. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2020. № 5. S. 128–139 [Protosenya A.G. Forecast of the spatial stress-strain state of a physically nonlinear soil mass in the bottomhole zone of the tunnel. / Protosenya A.G., Iovlev G.A. // Mining information and analytical bulletin. 2020. №. 5. P. 128–139] (in Russian)
6. Basov V.V. Issledovanie geomekhanicheskogo sostoyaniya neustoichivyykh porod v okrestnosti sopryazhenii gornyykh vyrobotok. // Gornye nauki i tekhnologii. 2019. № 4 (1). S. 23–30 [Basov V.V. Investigation of the geomechanical state of unstable rocks in the vicinity of mine workings. // Mining sciences and technologies. 2019. № 4 (1). P. 23–30] (in Russian)
7. Horst Wagner. Deep mining: a challenge in the field of mining. Mining mechanics and rock mining. 2019. V. 52. P. 1417–1446 (in English)
8. Natalia Matsa. Mining engineering in the tools of tomorrow's geotechnics. / Natalia Matsa, Klaus Dietz, Hakan Stille, Didier Virelly. // Geomechanics and tunneling. 2023. V. 16. Issue 5. P. 450–608 (in English)
9. Kang Yun-Shui. Research of progress in technologies and methods of fastening soft rocks with risks of large deformations in China. / Kang Yun-Shui, Gen Zhi, Liu Quan-Sheng, Liu Bin, Zhu Yuan-Guang. // Mechanics of Rocks and Soils. 2022. V. 43. Issue 8. P. 1–25 (in English)
10. Paul Hofer. Analysis of strain localization for elastoplastic models in geomechanics. / Paul Hofer, Matthias Neuner, Peter Gamnitzer, Gunther Hofstetter. // International Journal of Numerical Methods in Engineering. 2024. V. 125. Issue 24. P. 1–27 (in English)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Игнатов Е.В. Элементтік база параметрлерін таңдауға арналған геомеханикалық регламенттер және оларды техникалық шешімдерде іске асыру. / Е.В. Игнатов, М.А. Тюленев. // Тау-кен ісінің техникасы және технологиясы. 2021. № 2 (13). Б. 33–63 (орыс тілінде)
2. Серяков В.М. Көмір қабаттарын өңдеу технологиясының параметрлерін тазарту кеңістігі мен алдын ала қазылған кен қазбаларының өзара әсер ету аймағында геомеханикалық негіздеу. / В.М. Серяков, С.В. Риб, В.В. Басов, В.Н. Фрянов. // Пайдалы қазбаларды игерудің физика-техникалық мәселелері. 2018. № 6. Б. 21–29 (орыс тілінде)
3. Сашурин А.Д. Геомеханика мен жер қойнауын пайдалану арасындағы байланыс «Жер қойнауы» терминінің заңнамалық анықтамасы тұрғысынан. / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник. // Тау-кен өнеркәсібі. 2022. № 1. Б. 100–104 (орыс тілінде)
4. Трушко В.Л. Жаңа технологиялық құрылым жағдайында геомеханиканың даму перспективалары. // Тау-кен институтының жазбалары. 2019. Т. 236. Б. 162–166 (орыс тілінде)
5. Протосеня А.Г. Тоннельдің жерасты бөлігінің кернеулі-деформацияланған күйін болжау. / А.Г. Протосеня, Г.А. Иовлев. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетені. 2020. № 5. Б. 128–139 (орыс тілінде)
6. Басов В.В. Кен қазбаларының түйісу аймағындағы тұрақсыз жыныстардың геомеханикалық жағдайын зерттеу. // Тау-кен ғылымдары және технологиялары. 2019. № 4 (1). Б. 23–30 (орыс тілінде)
7. Хорст Вагнер. Терең жер асты өндіру: тау-кен ісіндегі қиындықтар. Тау-кен механикасы және жыныстарды игеру. 2019. Т. 52. Б. 1417–1446 (ағылшын тілінде)
8. Наталия Маца. Келешектегі геотехниканың құралдар жиынтығындағы тау-кен жобалауы. / Наталия Маца, Клаус Дитц, Хокан Стилле, Дидье Вирели. // Геомеханика және тоннель жүргізу. 2023. Т. 16. № 5. Б. 450–608 (ағылшын тілінде)
9. Кан Юн-Шуй. Үлкен деформация қаупі бар жұмсақ жыныстарды бекіту технологиялары мен әдістерінің даму барысын зерттеу (Қытай). / Кан Юн-Шуй, Ген Чжи, Лю Цюань-Шэн, Лю Бинь, Чжу Юань-Гуан. // Жыныстар мен топырақтардың механикасы. 2022. Т. 43. № 8. Б. 1–25 (ағылшын тілінде)

10. Пауль Хофер. Геомеханикадағы серпімді-пластикалық модельдер үшін деформацияны локализациялау талдауы. / Пауль Хофер, Маттиас Нойнер, Петер Гамницер, Гюнтер Хофштеттер. // Инженерлік есептеулердің халықаралық журналы. 2024. Т. 125. № 24. Б. 1–27 (ағылшын тілінде)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Игнатов Е.В. Геомеханические регламентации для выбора параметров элементной базы и их реализация в технических решениях. / Е.В. Игнатов, М.А. Тюленев. // Техника и технология горного дела. 2021. № 2 (13). С. 33–63 (на русском языке)
2. Серяков В.М. Геомеханическое обоснование параметров технологии отработки угольных пластов в зоне взаимовлияния очистного пространства и передовой выработки. / В.М. Серяков, С.В. Риб, В.В. Басов, В.Н. Фрянов. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 6. С. 21–29 (на русском языке)
3. Сашурин А.Д. Взаимосвязь геомеханики и недропользования с позиций законодательного определения термина «Недра». / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник. // Горная промышленность. 2022. № 1. С. 100–104 (на русском языке)
4. Трушко В.Л. Перспективы развития геомеханики в условиях нового технологического уклада. // Записки Горного института. 2019. Т. 236. С. 162–166 (на русском языке)
5. Протосеня А.Г. Прогноз пространственного напряженно-деформированного состояния физически нелинейного грунтового массива в призабойной зоне тоннеля. / А.Г. Протосеня, Г.А. Иовлев. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 5. С. 128–139 (на русском языке)
6. Басов В.В. Исследование геомеханического состояния неустойчивых пород в окрестности сопряжений горных выработок. // Горные науки и технологии. 2019. № 4 (1). С. 23–30 (на русском языке)
7. Хорст Вагнер. Глубинная добыча: вызов в области горного дела. Горная механика и разработка горных пород. 2019. Т. 52. С. 1417–1446 (на английском языке)
8. Наталия Маца. Проектирование в горном деле в инструментарии завтрашней геотехники. / Наталия Маца, Клаус Дитц, Хокан Стилле, Дидье Вирели. // Геомеханика и проходка туннелей. 2023. Т. 16. Вып. 5. С. 450–608 (на английском языке)
9. Кан Юн-Шуй. Исследование прогресса в технологиях и методах крепления мягких пород с рисками больших деформаций в Китае. / Кан Юн-Шуй, Ген Чжи, Лю Цюань-Шэн, Лю Бинь, Чжу Юань-Гуан. // Механика горных пород и грунтов. 2022. Т. 43. Вып. 8. С. 1–25 (на английском языке)
10. Пауль Хофер. Анализ локализации деформаций для упругопластических моделей в геомеханике. / Пауль Хофер, Маттиас Нойнер, Петер Гамницер, Гюнтер Хофштеттер. // Международный журнал по численным методам в инженерии. 2024. Т. 125. Вып. 24. С. 1–27 (на английском языке)

#### Information about the authors:

**Akhmatnurov D.R.**, Ph.D, Head of Laboratory, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [d.akhmatnurov@gmail.com](mailto:d.akhmatnurov@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

**Zamaliyev N.M.**, Ph.D, Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [nailzamaliyev@mail.ru](mailto:nailzamaliyev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

**Demin V.F.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [vladfdemin@mail.ru](mailto:vladfdemin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

**Ganyukov N.Y.**, Master of Technical Sciences, Department of Mineral Deposits Development, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), [nikitagd99@mail.ru](mailto:nikitagd99@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0008-9716-9473>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Ахматнұров Д.Р.**, Ph.D докторы, зертхана меңгерушісі, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Замалиев Н.М.**, Ph.D докторы, доцент м.а., Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Демин В.Ф.**, т.ғ.д., профессор, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Ганюков Н.Ю.**, техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Ахматнұров Д.Р.**, доктор Ph.D, руководитель лаборатории, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

**Замалиев Н.М.**, доктор Ph.D, и.о. доцента, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

**Демин В.Ф.**, д.т.н., профессор, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

**Ганюков Н.Ю.**, магистр технических наук, кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)





**ASTANA MINING  
AND METALLURGY**

**2025**



**05**

Астана, Казахстан

**06  
ИЮНЯ**

**КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ  
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ СФЕРЫ  
КАЗАХСТАНА**

**15-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ  
КОНГРЕСС**

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

Код МРНТИ 52.31.01

Б.Р. Ракишев, \*А.А. Орынбай, Т.С. Ибырханов

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

## ДОБЫЧА РУД БЕЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ИЗ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ БЛОКОВ УСТУПОВ

**Аннотация.** Предложена аналитическая зависимость сложности геологического строения блока. С использованием координатных сеток взрываемого и взорванного блока уступа разработана новая методика определения горно-технологических характеристик взорванных сложноструктурных рудных блоков. Выведены теоретические зависимости для определения основных показателей обогащения полезных ископаемых. Предложена аналитическая зависимость определения содержания полезного компонента в отгружаемой руде  $\alpha'$ . По значениям содержания ПК в отгружаемой руде определены относительные отклонения извлечения ПК в концентрат при различных вариантах изменения параметров примешиваемого слоя некондиционных руд в зависимости от содержания ПК в кондиционной руде. При предлагаемом новом варианте разработки сложноструктурных блоков предполагаемая разубоживающая часть некондиционных руд переходит в категорию извлекаемых запасов.

**Ключевые слова:** сложноструктурные блоки уступов, типы блоков, горно-геологические характеристики, содержание полезных компонентов, примешиваемые слои некондиционных руд, координатная сетка.

### Кемерлердің күрделі құрылымдық блоктарынан пайдалану шығындарынсыз кендерді өндіру

**Аңдатпа.** Блоктардың геологиялық құрылымының күрделілік көрсеткішінің аналитикалық тәуелділігі ұсынылған. Жарылатын және жарылған кемер блогының координаталық торларын пайдалана отырып, жарылған күрделі құрылымды кен блоктарының тау-кен-технологиялық сипаттамаларын анықтаудың жаңа әдістемесі әзірленді. Пайдалы қазбаларды байытудың негізгі көрсеткіштерін анықтау үшін теориялық тәуелділіктер анықталды. Жөнелтілетін  $\alpha'$  кеніндегі пайдалы компоненттің құрамын анықтаудың аналитикалық тәуелділігі ұсынылған. Жөнелтілетін кендегі ПК мазмұнының мәндері бойынша кондициялық кендегі ПК құрамына байланысты кондициялық емес кендердің аралас қабатының параметрлерін өзгертудің әртүрлі нұсқаларында ПК-ны концентратқа шығарудың салыстырмалы ауытқулары анықталды. Күрделі құрылымдық блоктарды әзірлеудің ұсынылған жаңа нұсқасымен кондицияланбаған кендердің болжамды ыдырайтын бөлігі алынатын қорлар санатына өтеді.

**Түйінді сөздер:** кемердің күрделі құрылымдық блоктары, блок түрлері, тау-кен геологиялық сипаттамалары, пайдалы компоненттердің құрамы, кондицияланбаған кендердің аралас қабаттары, координаталық тор.

### Оre mining without operational losses from complex-structured blocks of benches

**Abstract.** Analytical dependence of complexity of geological structure of block is proposed. Using coordinate grids of blasting and blasted bench block, a new method for determining mining and technological characteristics of blasted complex-structured ore blocks is developed. Theoretical dependencies are derived for determining main indicators of mineral enrichment. Analytical dependence for determining content of useful component in shipped ore  $\alpha'$  is proposed. Based on values of the UC content in shipped ore, relative deviations in extraction of UC into concentrate are determined for different options for changing parameters of admixed layer of substandard ores depending on UC content in the standard ore. With proposed new option for developing complex-structured blocks, expected diluting part of substandard ores passes into category of recoverable reserves.

**Key words:** complex structural blocks of benches, types of blocks, mining and geological characteristics, content of useful components, mixed layers of substandard ores, coordinate grid.

### Введение

Месторождения руд цветных, благородных и редких металлов Казахстана, как и других стран мира в своем большинстве являются сложноструктурными. Рудные участки имеют сложное геолого-морфологическое строение, неравномерное оруденение, визуально неразличимые границы с вмещающими породами. Они характеризуются различной формой, неодинаковыми размерами рудных тел, их пространственным размещением в рассматриваемом пространстве, различным оруденением и физико-механическими свойствами пород [1–3]. Совокупность этих признаков определяет степень сложности геолого-морфологического строения сложноструктурных участков полезных ископаемых. Их доля на предприятиях цветной металлургии стран СНГ составляет 60–90%, а эксплуатационные потери руды могут достигнуть 20–35% [2].

Основными причинами появления высокого уровня потерь и разубоживания при открытой разработке сложноструктурных полезных ископаемых (ПИ) являются недостаточная изученность геолого-морфологического строения сложноструктурных блоков уступов, несоответствие применяемых технологий выемочно-погрузочных работ реальным горно-геологическим условиям залегания сложноструктурных полезных ископаемых в массиве и во взорванном состоянии, использование частных методов определения и нормирования потерь и разубоживания, ориентированных на горно-геологические объекты с четкими геологическими

границами – жилы, линзы, пласты и пластообразования залежи. Причем количественные и качественные потери полезных ископаемых в них обычно устанавливаются для приконтурных участков рудных блоков.

Разработка инновационных методов оценки сложности таких участков и их использование для существенного уменьшения потерь и разубоживания при разработке сложноструктурных полезных ископаемых является актуальной и приоритетной задачей горной науки и промышленности.

### Типизация сложноструктурных рудных блоков уступов

Анализ литературных источников по типизации сложноструктурных блоков, их теоретическое осмысление показывает [4–7], что их определяющими параметрами являются размеры площадей отдельных рудных тел и линий их контактов с вмещающими породами (некондиционными рудами) в рассматриваемом объеме (рис. 1, 2). Этот признак может быть оценен коэффициентом сложности геолого-морфологического строения блока ( $k_{cl}$ ), определяемым по зависимости:

$$k_{cl} = \sum_{i=1}^n l_i t' / \sum_{i=1}^n S_i, \quad (1)$$

где  $l_i$  – длина контактных линий  $i$ -го рудного тела с вмещающими породами (или некондиционными рудами) на данном разрезе, м;



$t'$  – толщина слоя вмещающих пород или руд, попадающих при экскавации в рудную массу (или в отгружаемую породу), м;

$S_i$  – площадь сечения  $i$ -го рудного тела на данном разрезе блока, м<sup>2</sup>;

$n$  – число рудных тел.

Как видно из равенства (1), показатель сложности строения блока ( $k_{сл}$ ) выражает отношение суммарной площади приконтактного слоя примешиваемой породы или теряемой руды к суммарной площади рудных тел на данном разрезе. Иначе говоря, уравнение (1) определяет уровень количественных и качественных потерь руды при извлечении ее из сложноструктурных рудных блоков (ССРБ) уступа в долях единицы. Чем больше сумма примешиваемого слоя и меньше сумма площадей рудных тел, тем больше коэффициент сложности геолого-морфологического строения блока и наоборот. Это обстоятельство достаточно полно отражает реальное состояние дел на горных предприятиях.

Если толщина приконтактного слоя примешиваемой породы или теряемой руды для всех рудных тел ССРБ величина постоянная, то ее можно вынести за знак суммы. Тогда количественные и качественные потери будут пропорциональны отношению сумм длин контактных линий к суммарной площади рудных тел на данном разрезе блока, т. е.:

$$k_{сл} = \mu (\sum_{i=1}^n l_i / \sum_{i=1}^n S_i), \quad (2)$$

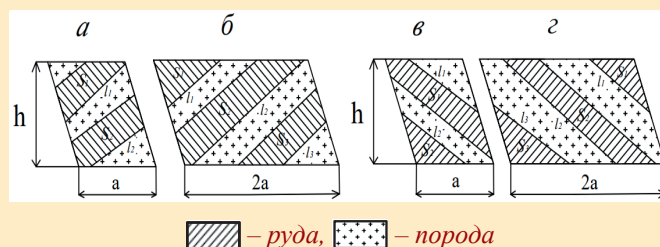
где  $\mu$  – некоторый коэффициент пропорциональности, м. В частном случае  $\mu = t'$ .

Для аналитического определения  $k_{сл}$  одним из авторов статьи предложена новая типизация сложноструктурных рудных блоков, содержащая только два типа таких блоков [7]. Первый тип представляет блоки, сложенные из разрозненных сплошных рудных тел, второй тип – блоки, сложенные из рассредоточенных рудных тел. Они приведены на рис. 1 и 2 и служат базой для определения их технологических характеристик, аналитически взаимовызывающих между собой все выявленные геометрические параметры геолого-морфологического строения блоков.

Расчеты показывают, что для сложноструктурных месторождений рассматриваемый критерий при значении  $t'$ , равном 0,25 м (десятой части наименьшей мощности рудного слоя), колеблется в пределах от 0,1 до 0,3 [7]. По характеру геолого-морфологического строения ССРБ можно подразделить на:

- сложноструктурные ( $k_{сл} = 0,1 - 0,2$ );
- более сложноструктурные ( $k_{сл} = 0,2 - 0,3$ ).

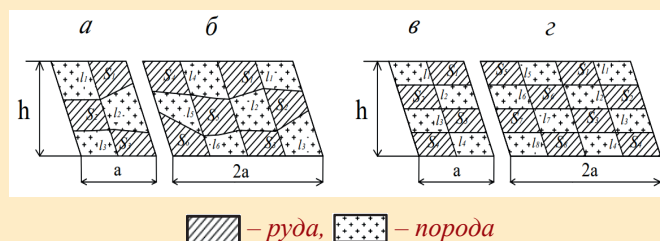
Следует отметить, что большинство месторождений руд цветных, редких и благородных металлов являются более сложноструктурными. При значении этой характеристики, превышающем 0,3, селективная выемка полезного ископаемого из ССРБ по экономическим соображениям становится весьма проблематичной, так как текущие затраты на добычу достигают невосполнимых размеров.



**Рис. 1. Виды сложноструктурных блоков уступов, сложенных из разрозненных сплошных рудных тел:** а, б – при угле падения тел от 0 до  $\pi/2$ ; в, г – при угле падения тел от  $\pi/2$  до  $\pi$ :  $h$  – высота блока,  $a$  и  $2a$  – ширина блока,  $S_i$  – площадь  $i$ -го рудного тела,  $l_i$  – длина линий контактов  $i$ -го рудного тела с вмещающими породами.

**Сурет 1. Шашыранқы қатты кенді денелерден тұратын кендердің күрделі құрылымдық блоктарының түрлері:** а, б – 0-ден  $\pi/2$ -ге дейінгі денелердің түсу бұрышында; в, г –  $\pi/2$ -ден  $\pi$ -ге дейінгі денелердің түсу бұрышында:  $h$  – блоктың биіктігі,  $a$  және  $2a$  – блоктың ені,  $S_i$  –  $i$ -ші кен денесінің ауданы,  $l_i$  – негізгі жыныстары бар денелер  $i$ -ші кеннің байланыс сызықтарының ұзындығы.

**Figure 1. Types of complex structural blocks of benches composed of disparate solid ore bodies:** а, б – at the angle of incidence of bodies from 0 to  $\pi/2$ ; в, г – at the angle of incidence of bodies from  $\pi/2$  to  $\pi$ :  $h$  – block height,  $a$  and  $2a$  – block width,  $S_i$  – area of the  $i$ -th of the ore body,  $l_i$  – is the length of the contact lines of the  $i$ -th ore body with the host rocks.



**Рис. 2. Виды сложноструктурных блоков, сложенных из рассредоточенных рудных тел:** а, б – трапецевидные тела, в, г – параллелограммные тела:  $h$  – высота блока,  $a$  и  $2a$  – ширина блока,  $S_i$  – площадь  $i$ -го рудного тела,  $l_i$  – длина линий контактов  $i$ -го рудного тела с вмещающими породами.

**Сурет 2. Дисперсті кен денелерінен құралған күрделі құрылымдық блоктардың түрлері:** а, б – трапеция тәрізді денелер, в, г – параллелограммдық денелер:  $h$  – блоктың биіктігі,  $a$  және  $2a$  – блоктың ені,  $S_i$  –  $i$ -ші кен денесінің ауданы,  $l_i$  – негізгі жыныстары бар денелер  $i$ -ші кеннің байланыс сызықтарының ұзындығы.

**Figure 2. Types of complex structural blocks composed of dispersed ore bodies:** а, б – trapezoid bodies, в, г – parallelogram bodies:  $h$  – block height,  $a$  and  $2a$  – block width,  $S_i$  – area of the  $i$ -th of the ore body,  $l_i$  – is the length of the contact lines of the  $i$ -th ore body with the host rocks.

### Геометрические характеристики элементов взорванного сложноструктурного блока уступа

Определение коэффициентов сложности геолого-морфологического строения ССРБ реализуется с помощью координатных сеток взрываемого и взорванного блока. При этом взрываемый блок разбивается на определенное число частей виртуальными плоскостями, проведенными параллельно откосу уступа и горизонту [8] (рис. 3а). Следы горизонтальных разбивающих плоскостей в разрезе уступа представляют собой горизонтальные огибающие линии элементов уступа. В их число входят также следы кровли и подошвы уступа. Аналогично следы наклонных разбивающих плоскостей представляют собой наклонные огибающие линии рассматриваемых элементов уступа. Они включают в свой состав линию откоса уступа и линию отрыва взрываемого блока от массива пород (рис. 3а). Положения отмеченных огибающих линий во взорванном состоянии блоков уступов показаны на рис. 3б, в.

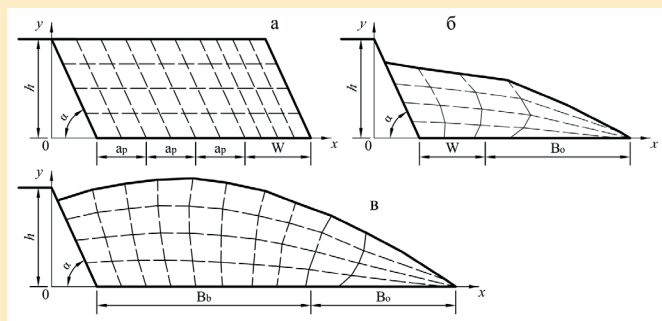


Рис. 3. Схема размещения элементов уступа во взрываемом (а) и взорванных блоках при однорядном (б) и четырехрядном КЗВ на свободную поверхность (в).

Сурет 3. Бір қатарлы (б) және төрт қатарлы ҚЖ кезінде бос бетке жарылатын (а) және жарылған (в) блоктардағы кемер элементтерін орналастыру схемасы.

Figure 3. Layout of bench elements in blasting (a) and blasted blocks with single-row (b) and four-row SLE on a free surface (c).

Совокупность взаимно пересекающихся горизонтальных и наклонных огибающих линий элементов взрываемого блока в разрезе названа координатной сеткой взрываемого блока. Совокупность взаимно пересекающихся деформированных горизонтальных и наклонных огибающих линий элементов уступа в развале названа координатной сеткой взорванного блока.

К геометрическим характеристикам элементов взорванного блока относятся их площади, огибающие линии, коэффициенты разрыхления элементов по горизонтальным и наклонным слоям и координаты узловых точек координатной сетки взорванного блока [9]. Узловыми точками координатной сетки взорванного блока являются точки пересечения горизонтальных и наклонных огибающих линий элементов взрываемого блока.

Нумерация слоев по вертикали  $y$  ( $y = 1, 2 \dots 4$ ) ведется снизу вверх, а по горизонтали  $\delta$  ( $\delta = 1, 2 \dots 10$ ) сле-

ва направо. Этому порядку соответствуют индексы рассматриваемых характеристик элементов (площадей, коэффициента разрыхления) взорванного блока ( $S_{1,1}^*, S_{1,2}^*, \dots, S_{4,10}^*; k_{p1,1}, k_{p1,2}, \dots, k_{p4,10}$ ).

Координаты узловых точек координатной сетки взорванного блока определяются по следующим формулам:

$$x_{ij} = k_{ij}^x (\epsilon_\lambda + m_j); y_{ij} = k_{ij}^y * l_i, \quad (3)$$

где  $x_{ij}, y_{ij}$  – координаты узловых точек координатной сетки, т. е. точек пересечения  $i$ -ой и  $j$ -ой огибающих линий элементов взорванного блока уступа,  $i$  ( $i = 1, 2 \dots 5$ ),  $j$  ( $j = 1, 2 \dots 11$ );  $k_{ij}^x, k_{ij}^y$  – коэффициенты пропорциональности изменения координат узловых точек соответственно по горизонтальному и вертикальному направлениям;

$\epsilon_\lambda, m_j, l_i$  – константы уравнения.

Константа  $\epsilon_\lambda$  одинакова для однорядного и многорядного расположения скважин и определяется по зависимости:

$$\epsilon_\lambda = (h - l_i) \cdot ctg\alpha. \quad (4)$$

Здесь индексы  $\epsilon_\lambda$  обозначают номера узловых точек на линии отрыва пород от массива снизу вверх ( $\lambda = 1, 2 \dots 5$ ),  $h$  – высота уступа,  $\alpha$  – угол откоса уступа,  $l_i$  – ордината  $i$ -ой огибающей горизонтальной линии взрываемого блока.

$$l_1 = 0; l_2 = \frac{h}{4}; l_3 = \frac{h}{2}; l_4 = \frac{3h}{4}; l_5 = h. \quad (5)$$

Константа  $m_j$  – расстояние (по горизонтали) между рассматриваемой огибающей наклонной линией и линией отрыва пород от массива во взрываемом блоке.

При однорядном взрывании:

$$m_1 = 0; m_2 = \frac{w}{4}; m_3 = \frac{w}{2}; m_4 = \frac{3w}{4}; m_5 = w; \quad (6)$$

при четырехрядном КЗВ:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0; m_2 = \frac{ap}{2}; m_3 = ap; m_4 = \frac{3ap}{2}; m_5 = 2ap; \\ m_6 &= \frac{5ap}{2}; m_7 = 3ap; m_8 = 3ap + \frac{w}{4}; \\ m_9 &= 3ap + \frac{w}{2}; m_{10} = 3ap + \frac{3w}{4}; m_{11} = 3ap + w. \end{aligned} \quad (7)$$

Коэффициенты пропорциональности изменения координат узловых точек связаны с интегральной характеристикой состояния развала – с коэффициентом разрыхления пород в соответствующих слоях развала и с соотношением, учитывающим длину отброшенной части развала  $B_o$ , константы  $l_i, m_j$ , т. е. с параметрами:

$$p_{y\delta}^x = k_{p(y\delta)} \sqrt{\frac{B_o}{m_j}}, p_{y\delta}^y = k_{p(y\delta)} \sqrt{\frac{B_o}{l_i}}, \quad (8)$$

где  $y = 1, 2, 3, 4$ ;  
 $\delta = 1, 2 \dots 10$ ;  
 $i = y + 1$ ;  
 $j = \delta + 1$ .



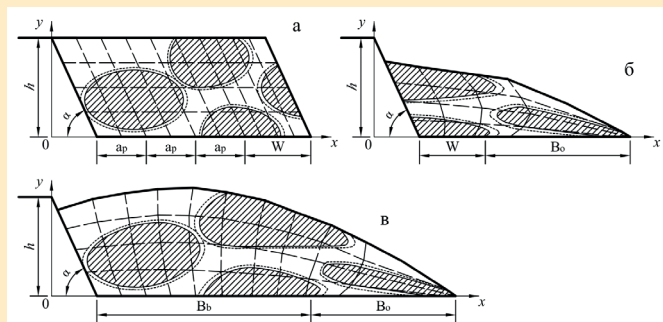
Аппроксимирующие полиномиальные уравнения для определения искомых коэффициентов пропорциональности точек координатной сетки развала пород выглядят следующим образом:

$$k_{ij}^x = a_i^x p_{\gamma\delta}^x{}^5 + b_i^x p_{\gamma\delta}^x{}^4 + c_i^x p_{\gamma\delta}^x{}^3 + d_i^x p_{\gamma\delta}^x{}^2 + e_i^x p_{\gamma\delta}^x + f_i^x, \quad k_{ij}^y = a_j^y p_{\gamma\delta}^y{}^2 + b_j^y p_{\gamma\delta}^y + c_j^y, \quad (9)$$

где  $a_i^x, b_i^x, c_i^x, d_i^x, e_i^x, f_i^x$  – константы первого уравнения (9), связанные с  $i$ -ой горизонтальной оконтуривающей линией;

$a_j^y, b_j^y, c_j^y$  – константы второго уравнения (9), связанные с  $j$ -ой наклонной оконтуривающей линией. Также стоит учесть, что индексы слоев и оконтуривающих линий нумеруются следующим образом, если  $i = 1$ , то  $y = i$ , если же  $i > 1$ , то  $y = i - 1$ ; аналогично, если  $j = 1$ , то  $\delta = j$ , если же  $j > 1$ , то  $\delta = j - 1$ .

По предложенной методике аналитического определения узловых точек координатной сетки блока была создана компьютерная программа в среде Microsoft Visual Studio 2019 [9]. Она позволяет проводить удобный и гибкий расчет координат узловых внутренних точек и построить профиль развала взорванных пород. Примеры расчетов и автоматизированного построения профиля развала горных пород и расположения разрозненных рудных тел представлены на рис. 4 б и в. Они подтверждают работоспособность разработанного аналитического метода определения координат узловых внутренних точек координатной сетки взорванного блока и автоматизированного прогнозирования размещения различных элементов уступа во взорванной горной массе в различных условиях взрывания.



**Рис. 4. Схема размещения рудных тел во взрывае (а) и взорванных блоках при однорядном (б), четырехрядном КВЗ (в) на свободную поверхность.**

**Сурет 4. Бір қатарлы (б) және төрт қатарлы ҚЖ кезінде бос бетке жарылатын (а) және жарылған (в) блоктардағы кенді денелер орналастыру схемасы.**  
**Figure 4. Layout of ore bodies in blasting (a) and blasted blocks with single-row (b) and four-row SLE on a free surface (c).**

#### **Аналитическое определение основных показателей обогащения полезных ископаемых**

Для горно-технологического обоснования полного извлечения руд из сложноструктурных блоков без потерь и разубоживания рассмотрим основные показатели процес-

са обогащения руд. Содержание полезного компонента в концентрате ( $\beta$ ), в хвостах обогащения ( $\delta$ ), в руде ( $\alpha$ ), выход концентрата ( $\gamma_k$ ), выход хвостов ( $\gamma_x$ ), извлечение полезного компонента в концентрат ( $\varepsilon_k$ ), в хвосты ( $\varepsilon_x$ ) обычно устанавливаются путем непосредственных измерений и вычислений [10, 11].

Для их теоретического определения из уравнения баланса массы руды, поступившей на фабрику, и продуктов обогащения и уравнения баланса полезных компонентов в руде, концентрате и хвостах получены следующие формулы:

$$\gamma_k = \frac{M_k}{M_p} = \frac{\alpha - \delta}{\beta - \delta}, \quad \gamma_x = \frac{M_x}{M_p} = \frac{\beta - \alpha}{\beta - \delta}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_k = \frac{M_k \beta}{M_p \alpha} = \frac{\alpha - \delta}{\beta - \delta} \frac{\beta}{\alpha}, \quad \varepsilon_x = \frac{M_x \delta}{M_p \alpha} = \frac{\beta - \alpha}{\beta - \delta} \frac{\delta}{\alpha}. \quad (11)$$

Поскольку массы руды, концентрата и хвостов можно измерить, то извлечение и выходы продуктов обогащения можно считать известными, т. к. они рассчитываются по формулам (10), (11).

Извлечение полезного компонента в продукты обогащения и его выходы взаимосвязываются соотношениями:

$$\varepsilon_k = \gamma_k \frac{\beta}{\alpha}, \quad \varepsilon_x = \gamma_x \frac{\delta}{\alpha}. \quad (12)$$

Из формул (10), (11) следует, что

$$\gamma_k + \gamma_x = 1, \quad \varepsilon_k + \varepsilon_x = 1. \quad (13)$$

Эти результаты вполне естественны и подтверждают справедливость выражений (10), (11).

Пример расчета технологических показателей обогащения полиметаллических руд месторождений приведен в таблице 1.

Для решения поставленной задачи обратим внимание на принципы оконтуривания кондиционных руд. Оно осуществляется на основе принятого по технологическим, экономическим мотивам предельно допустимого минимального значения полезных компонентов (ПК) в руде,  $\alpha$ .

Объемы руды с содержанием ПК ниже указанного уровня ( $< \alpha$ ) считаются некондиционными. Они включаются в состав вмещающих горных пород. В то же время из геологии месторождений, в частности, руд цветных, благородных и редких металлов [12] известно, что снижение содержания ПК с удалением от центра рудного тела происходит постепенно, плавно. Это значит, в части некондиционных руд, непосредственно контактирующей с кондиционными рудами, содержание ПК незначительно отличается от нормативного. Однако с увеличением указанного объема уменьшается ПК в общей отгружаемой руде. Содержание ПК в такой рудной массе ( $\alpha'$ ) в 3D формате определяется по формуле:

$$\alpha' = \frac{V_{кр} + \lambda V_{нр}}{V_{кр} + V_{нр}} \cdot \alpha, \quad (14)$$

где  $V_{кр}$  – объем кондиционной руды,  $m^3$ ;

$V_{нр}$  – объем примешиваемого слоя некондиционной руды,  $m^3$ ;

Таблица 1

Показатели обогащения медной (а), свинцовой (б) и цинковой (в) руд при различном содержании ПК в руде

Кесте 1

Кендегі әртүрлі ПК құрамындағы мыс (а), қорғасын (б) және мырыш (в) кендерін байыту көрсеткіштері

Table 1

Enrichment rates of copper (a), lead (b) and zinc (c) ores with different UC content in the ore

| Руды | $\alpha$ | $\varepsilon_k$ | $\gamma_k$ | $\varepsilon_x$ | $\gamma_x$ | $\alpha$ | $\varepsilon_k$ | $\gamma_k$ | $\varepsilon_x$ | $\gamma_x$ |
|------|----------|-----------------|------------|-----------------|------------|----------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| а    | 0,40     | 85,26           | 1,71       | 14,74           | 98,29      | 0,75     | 92,28           | 3,46       | 7,72            | 96,54      |
|      | 0,45     | 86,93           | 1,96       | 13,07           | 98,04      | 0,80     | 92,78           | 3,71       | 7,22            | 96,29      |
|      | 0,50     | 88,26           | 2,21       | 11,74           | 97,79      | 0,85     | 93,22           | 3,96       | 6,78            | 96,04      |
|      | 0,55     | 89,36           | 2,46       | 10,64           | 97,54      | 0,90     | 93,61           | 4,21       | 6,39            | 95,79      |
|      | 0,60     | 90,27           | 2,71       | 9,73            | 97,29      | 0,95     | 93,97           | 4,46       | 6,03            | 95,54      |
|      | 0,65     | 91,04           | 2,96       | 8,96            | 97,04      | 1,00     | 94,28           | 4,71       | 5,72            | 95,29      |
|      | 0,70     | 91,70           | 3,21       | 8,30            | 96,79      | 1,10     | 94,83           | 5,22       | 5,17            | 94,78      |
| б    | 0,80     | 91,39           | 1,62       | 8,61            | 98,38      | 2,00     | 96,65           | 4,30       | 3,35            | 95,70      |
|      | 1,00     | 93,14           | 2,07       | 6,86            | 97,93      | 2,20     | 96,97           | 4,74       | 3,03            | 95,26      |
|      | 1,20     | 94,31           | 2,52       | 5,69            | 97,48      | 2,40     | 97,23           | 5,19       | 2,77            | 94,81      |
|      | 1,40     | 95,15           | 2,96       | 4,85            | 97,04      | 2,60     | 97,46           | 5,63       | 2,54            | 94,37      |
|      | 1,60     | 95,77           | 3,41       | 4,23            | 96,59      | 2,80     | 97,65           | 6,08       | 2,35            | 93,92      |
|      | 1,80     | 96,26           | 3,85       | 3,74            | 96,15      | 3,00     | 97,82           | 6,52       | 2,18            | 93,48      |
| в    | 1,00     | 92,18           | 2,30       | 7,82            | 97,70      | 3,80     | 98,09           | 9,32       | 1,91            | 90,68      |
|      | 1,40     | 94,47           | 3,31       | 5,53            | 96,69      | 4,20     | 98,29           | 10,32      | 1,71            | 89,68      |
|      | 1,80     | 95,75           | 4,31       | 4,25            | 95,69      | 4,60     | 98,46           | 11,32      | 1,54            | 88,68      |
|      | 2,20     | 96,56           | 5,31       | 3,44            | 94,69      | 5,00     | 98,60           | 12,32      | 1,40            | 87,68      |
|      | 2,60     | 97,12           | 6,31       | 2,88            | 93,69      | 5,40     | 98,72           | 13,33      | 1,28            | 86,67      |
|      | 3,00     | 97,53           | 7,31       | 2,47            | 92,69      | 5,50     | 98,74           | 13,58      | 1,26            | 86,42      |
|      | 3,40     | 97,84           | 8,32       | 2,16            | 91,68      | 5,60     | 98,77           | 13,83      | 1,23            | 86,17      |

$\lambda$  – относительное содержание ПК в примешиваемом объеме некондиционных руд. По прикидочным данным на расстоянии от контура рудного тела, равном 0,25; 0,4; 0,5 м  $\lambda$  составляет соответственно 0,75; 0,6; 0,5.

Рассмотрено три варианта полного извлечения кондиционных запасов ПИ совместно с некоторой частью НР сложноструктурных блоков при минимальной мощности рудного тела 2,5 м. Значения переменных  $t'$  и  $\lambda$  принимались равными: в I варианте  $t' = 0,25$  м,  $\lambda = 0,75$ ; во II варианте  $t' = 0,4$ ,  $\lambda = 0,6$ ; в III варианте  $t' = 0,5$ ,  $\lambda = 0,5$ . Численные значения содержания полезных компонентов в отгружаемой руде и извлечения их в концентрат для медных, свинцовых и цинковых руд приведены в таблицу 2. Абсолютные и относительные отклонения этих показателей представлены в таблице 3.

Данные таблицы 2 показывают, что содержание ПК в отгружаемой медной руде с увеличением его содержания в кондиционной руде во всех вариантах увеличивается и уменьшается с удалением от контура рудного тела. Аналогичная тенденция характерна и для извлечения меди в концентрат. Однако эти изменения не существенны. Для оценки их влияния на конечный результат – извлечение

полезного компонента в концентрат рассмотрим эти отклонения в трех рассматриваемых случаях.

Как видно из таблицы 3, относительное отклонение содержания ПК в отгружаемой руде в зависимости от содержания ПК в кондиционной руде при всех вариантах остается на одном уровне (4,17%), (9,7%), (14,29%). Относительное отклонение извлечения ПК в концентрат в первом варианте изменяется от 0,67 до 0,29%, во втором варианте от 1,65 до 0,72%, в третьем варианте от 2,56 до 1,1%. Эти показатели с изменением параметров примешиваемых слоев некондиционных руд в зависимости от содержания ПК в кондиционной руде (0,45; 0,60; 0,75 и 0,95) соответственно достигают значений 0,67, 1,65, 2,50%; 0,48, 1,19, 1,85%; 0,38, 0,93, 1,45%; 0,29, 0,72, 1,12%. Соответствующие показатели имеют свинцовые и цинковые руды. Они свидетельствуют, что относительное отклонение извлечения ПК в концентрат от требуемого не значительно и лежит в допустимых пределах. Это означает, что при полном извлечении кондиционных руд из сложноструктурных блоков уступов путем примешивания слоя некондиционных руд определенных размеров обеспечивается требуемое качество отгружаемой рудной массы и увеличение ее объема.



Таблица 2

Содержание ПК в отгружаемой руде и их извлечение в концентрат при различных размерах  
примешиваемых слоев некондиционных руд

Кесте 2

Жөнелтілетін кендегі ПК мазмұны және оларды кондициялық емес кендердің араласқан қабаттарының  
әртүрлі мөлшерінде концентратқа алу

Table 2

The content of UC in the shipped ore and their extraction into concentrate at various sizes of mixed layers of substandard ores

| Металл | Варианты |              |           |              |           |              |           |              |
|--------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
|        | Исходный |              | I         |              | II        |              | III       |              |
|        | $\alpha$ | $\epsilon_k$ | $\alpha'$ | $\epsilon_k$ | $\alpha'$ | $\epsilon_k$ | $\alpha'$ | $\epsilon_k$ |
| Медь   | 0,45     | 86,93        | 0,43      | 86,35        | 0,41      | 85,49        | 0,39      | 84,70        |
|        | 0,60     | 90,27        | 0,58      | 89,83        | 0,54      | 89,19        | 0,51      | 88,60        |
|        | 0,75     | 92,28        | 0,72      | 91,93        | 0,68      | 91,42        | 0,64      | 90,94        |
|        | 0,95     | 93,97        | 0,91      | 93,69        | 0,86      | 93,29        | 0,81      | 92,91        |
| Свинец | 1,00     | 93,14        | 0,96      | 92,84        | 0,90      | 92,39        | 0,86      | 91,98        |
|        | 1,60     | 95,77        | 1,53      | 95,58        | 1,44      | 95,30        | 1,37      | 95,04        |
|        | 2,20     | 96,97        | 2,11      | 96,83        | 1,99      | 96,63        | 1,89      | 96,44        |
|        | 2,80     | 97,65        | 2,68      | 97,54        | 2,53      | 97,38        | 2,40      | 97,23        |
| Цинк   | 1,40     | 94,47        | 1,34      | 94,23        | 1,26      | 93,86        | 1,20      | 93,52        |
|        | 2,60     | 97,12        | 2,49      | 96,98        | 2,35      | 96,79        | 2,23      | 96,60        |
|        | 4,20     | 98,29        | 4,03      | 98,21        | 3,79      | 98,09        | 3,60      | 97,97        |
|        | 5,40     | 98,72        | 5,18      | 98,65        | 4,88      | 98,56        | 4,63      | 98,47        |

Таблица 3

Отклонения исследуемых показателей от кондиционных при различных размерах примешиваемых слоев  
некондиционных руд

Кесте 3

Зерттелетін көрсеткіштердің кондициялық емес кендердің араласқан қабаттарының әртүрлі мөлшеріндегі  
кондициялық көрсеткіштерден ауытқуы

Table 3

Deviations of the studied indicators from the conditioned ones at different sizes of the mixed layers of substandard ores

| Металл | Варианты        |                    |                 |                    |                 |                    |
|--------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|        | I               |                    | II              |                    | III             |                    |
|        | $\Delta\alpha'$ | $\Delta\epsilon_k$ | $\Delta\alpha'$ | $\Delta\epsilon_k$ | $\Delta\alpha'$ | $\Delta\epsilon_k$ |
| 1      | 2               | 3                  | 4               | 5                  | 6               | 7                  |
| Медь   | <u>0,02</u>     | <u>0,58</u>        | <u>0,04</u>     | <u>1,44</u>        | <u>0,06</u>     | <u>2,23</u>        |
|        | 4,17            | 0,67               | 9,70            | 1,65               | 14,29           | 2,56               |
|        | <u>0,03</u>     | <u>0,44</u>        | <u>0,06</u>     | <u>1,08</u>        | <u>0,09</u>     | <u>1,67</u>        |
|        | 4,17            | 0,48               | 9,70            | 1,19               | 14,29           | 1,85               |
|        | <u>0,03</u>     | <u>0,35</u>        | <u>0,07</u>     | <u>0,86</u>        | <u>0,11</u>     | <u>1,34</u>        |
|        | 4,17            | 0,38               | 9,70            | 0,93               | 14,29           | 1,45               |
|        | <u>0,04</u>     | <u>0,28</u>        | <u>0,09</u>     | <u>0,68</u>        | <u>0,14</u>     | <u>1,06</u>        |
|        | 4,17            | 0,29               | 9,70            | 0,72               | 14,29           | 1,12               |
| Свинец | <u>0,04</u>     | <u>0,30</u>        | <u>0,10</u>     | <u>0,75</u>        | <u>0,14</u>     | <u>1,17</u>        |
|        | 4,17            | 0,33               | 9,70            | 0,81               | 14,29           | 1,25               |
|        | <u>0,07</u>     | <u>0,19</u>        | <u>0,16</u>     | <u>0,47</u>        | <u>0,23</u>     | <u>0,73</u>        |
|        | 4,17            | 0,20               | 9,70            | 0,49               | 14,29           | 0,76               |
|        | <u>0,09</u>     | <u>0,14</u>        | <u>0,21</u>     | <u>0,34</u>        | <u>0,31</u>     | <u>0,53</u>        |
|        | 4,17            | 0,14               | 9,70            | 0,35               | 14,29           | 0,55               |
|        | <u>0,12</u>     | <u>0,11</u>        | <u>0,27</u>     | <u>0,27</u>        | <u>0,40</u>     | <u>0,42</u>        |
|        | 4,17            | 0,11               | 9,70            | 0,28               | 14,29           | 0,43               |

| Металл | Варианты            |                     |                     |                     |                      |                     |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|        | I                   |                     | II                  |                     | III                  |                     |
|        | $\Delta\alpha'$     | $\Delta\epsilon_k$  | $\Delta\alpha'$     | $\Delta\epsilon_k$  | $\Delta\alpha'$      | $\Delta\epsilon_k$  |
| 1      | 2                   | 3                   | 4                   | 5                   | 6                    | 7                   |
| Цинк   | <u>0,06</u><br>4,17 | <u>0,25</u><br>0,26 | <u>0,14</u><br>9,70 | <u>0,61</u><br>0,65 | <u>0,20</u><br>14,29 | <u>0,95</u><br>1,01 |
|        | <u>0,11</u><br>4,17 | <u>0,13</u><br>0,14 | <u>0,25</u><br>9,70 | <u>0,33</u><br>0,34 | <u>0,37</u><br>14,29 | <u>0,51</u><br>0,53 |
|        | <u>0,18</u><br>4,17 | <u>0,08</u><br>0,08 | <u>0,41</u><br>9,70 | <u>0,20</u><br>0,21 | <u>0,60</u><br>14,29 | <u>0,32</u><br>0,32 |
|        | <u>0,23</u><br>4,17 | <u>0,06</u><br>0,07 | <u>0,52</u><br>9,70 | <u>0,16</u><br>0,16 | <u>0,77</u><br>14,29 | <u>0,25</u><br>0,25 |
|        |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|        |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|        |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|        |                     |                     |                     |                     |                      |                     |

Примечание: в числителе дроби приведены абсолютные, а в знаменателе дроби – относительные отклонения в процентах

Таким образом, при новом подходе к разработке сложно-структурных блоков предполагаемая разубоживающая часть некондиционных руд переходит в категорию извлекаемых запасов. Вследствие этого увеличивается как объем извлекаемой руды, так и расширенное извлечение полезных компонентов в концентрат. Такое приращение полезных компонентов может достичь 10,0–15,0% от общего объема добычи.

### Заключение

В результате проведенных исследований:

1. Проведена новая типизация сложноструктурных рудных блоков уступа. К первому типу отнесены блоки, сложенные из разрозненных сплошных рудных тел различной формы и размеров с прямолинейными контактами с породными прослоями. Второй тип уступов представлен блоками, сложенными из рассредоточенных рудных тел в виде многоугольников с прямолинейными контактами с вмещающими породами.

2. В качестве определяющей горно-геологической характеристики сложноструктурных рудных блоков рассмотрен показатель сложности геологического строения блока. Предложена аналитическая зависимость этой характеристики. Анализ ее численных значений показывает, что большинство месторождений руд цветных, благородных и редких металлов являются более сложноструктурными.

3. С использованием координатных сеток взрываемого и взорванного блока уступа разработана новая методика определения горно-технологических характеристик взорванных сложноструктурных рудных блоков. Создана компьютерная программа автоматизированного построения размещения разрозненных рудных тел в развале пород.

4. Выведены теоретические зависимости для определения основных показателей обогащения полезных ископаемых. Для обоснования полного извлечения руд из сложноструктурных блоков уступов предложена аналитическая зависимость определения содержания полезного компонента в отгружаемой руде  $\alpha'$ . Последняя представляет собой смесь кондиционной руды с содержанием ПК  $\alpha$  и примешиваемого слоя некондиционной руды с содержанием ПК  $\alpha''$ .

5. По значениям содержания ПК в отгружаемой руде определены относительные отклонения извлечения ПК в концентрат при различных вариантах изменения параметров примешиваемого слоя некондиционных руд в зависимости от содержания ПК в кондиционной руде.

6. При предлагаемом новом варианте разработки сложноструктурных блоков предполагаемая разубоживающая часть некондиционных руд переходит в категорию извлекаемых запасов. Увеличивается как объем извлекаемой руды, так и расширенное извлечение полезных компонентов в концентрат.

7. Приращение извлечения полезных компонентов из сложноструктурных рудных блоков может достичь 10,0–15,0% от проектных.

### Благодарность

Статья подготовлена в рамках проекта, финансируемого министерством науки и высшего образования Республики Казахстан 2023/AP19676591. «Разработка инновационных технологий полного извлечения разрозненных кондиционных руд из сложноструктурных блоков уступов».

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шабаров А.Н. Основные направления развития горнодобывающей отрасли в усложняющихся горнотехнических условиях ведения горных работ. / А.Н. Шабаров, А.Д. Куранов. // Горный журнал. 2023. № 5. С. 5–10 (на русском языке)
2. Кантемиров В.Д. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче. / В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.В. Тимохин, А.М. Яковлев. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 3–I. С. 453–464 (на русском языке)
3. Лобынцев А.К. Оценка степени влияния горнотехнических факторов на норматив готовых к выемке запасов при проектировании открытой разработки сложноструктурных рудных месторождений. / А.К. Лобынцев, С.И. Фомин. // Рациональное освоение недр. 2021. № 5 (61). С. 40–43 (на русском языке)
4. Коуэн Э.Дж. Структурная архитектура месторождения золота Сигма-Ламак, Канада, в масштабе месторождения – выводы из недавно предложенного трехмерного метода оценки



- структурного контроля по данным буровых скважин. // *Miner Deposita*. 2020. № 55. С. 217–240 (на английском языке)
5. Син Цзинь. 3D-геологическое моделирование и анализ неопределенностей для 3D-нацеливания на золоторудное месторождение Шангун (Китай). / Син Цзинь, Гунвэнь Ван, Пин Тан, Чанмяо Ху, Яовэнь Лю, Сукунь Чжан. // *Journal of Geochemical Exploration*. 2020. № 210. С. 106442 (на английском языке)
  6. Шове А. Структурный контроль рудных месторождений: роль ранее существовавших структур в формировании систем минерализованных жил. // *Minerals*. 2019. № 9 (1). С. 56 (на английском языке)
  7. Ракишев Б.Р. Горно-геологические модели виртуальных комплексных рудных блоков уступа // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № (4). С. 11–17 (на английском языке)
  8. Ракишев Б. Автоматизированное определение зон дробления горных пород в развале. / Б. Ракишев, З. Ракишева, А. Ауэзова, А. Орынбай. // *Mining of Mineral Deposits*. 2022. № 16 (3). С. 109–114 (на английском языке)
  9. Ракишев Б.Р. Автоматизированное определение координатной сетки взорванного блока массива пород / Б.Р. Ракишев, З.Б. Ракишева, А.А. Орынбай // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020. № 8. С. 40–51 (на русском языке)
  10. Ракишев Б.Р. Технологические ресурсы повышения качества и полноты использования минерального сырья. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2017. № 2. С. 116–124 (на английском языке)
  11. Пелих В.В. Модель извлечения бадделита из отвальных продуктов апатито-бадделитовой обогатительной фабрики на концентраторе CVD6. / В.В. Пелих, В.М. Салов, А.Е. Бурдонов, Н.Д. Лукьянов. // *Записки Горного института*. 2021. Т. 248. С. 281–290 (на русском языке)
  12. Туртыгина Н. А. Количественная оценка природной изменчивости качества медистых руд, залегающих в кровле интрузива. / Н.А. Туртыгина, А.В. Охрименко. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019. Т. № 8. С. 146–156 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шабаров А.Н. Тау-кен жұмыстарын жүргізудің күрделі тау-кен техникалық жағдайларында тау-кен өндіру саласын дамытудың негізгі бағыттары. / А.Н. Шабаров, А.Д. Куранов. // *Тау-кен журналы*. 2023. № 5. Б. 5–10 (орыс тілінде)
2. Кантемиров В.Д. Пайдалы қазбаларды өндіру кезінде ұлғайған жоғалтуларды және сұйылтуды есепке алу әдістерін жетілдіру. / В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.В. Тимохин, А.М. Яковлев. // *Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень*. 2020. № 3–1. Б. 453–464 (орыс тілінде)
3. Лобынцев А.К. Күрделі құрылымды кен кен орындарын ашық игеруді жобалау кезінде кен өндіруге дайын қорлардың нормативіне тау-кен факторларының әсер ету дәрежесін бағалау. / А.К. Лобынцев, С.И. Фомин. // *Жер қойнауын ұтымды игеру*. 2021. № 5 (61). Б. 40–43 (орыс тілінде)
4. Коуэн Э.Дж. Сигма-Ламаке алтын кен орнының кен орны масштабындағы құрылымдық архитектурасы, Канада – бұрғылау ұңғымаларының деректерінен құрылымдық бақылауларды бағалауға арналған жаңадан ұсынылған 3D әдісінен алынған түсініктер. // *Miner Deposita*. 2020. № 55. Б. 217–240 (ағылшын тілінде)
5. Xing Jin. 3D геологиялық модельдеу және Shanggong алтын кен орнында (Қытай) 3D нысанаға алу үшін белгісіздік талдауы. / Xing Jin, Gongwen Wang, Ping Tang, Changmiao Hu, Yaowen Liu, Sukun Zhang. // *Journal of Geochemical Exploration*. 2020. № 210. Б. 106442 (ағылшын тілінде)
6. Шове А. Кенді кен орындарын құрылымдық бақылау: минералданған тамыр жүйелерінің қалыптасуындағы бұрыннан бар құрылымдардың рөлі. // *Minerals*. 2019. № 9 (1). Б. 56 (ағылшын тілінде)
7. Рақышев Б.Р. Кемердің виртуалды күрделі кен блоктарының тау-кен-геологиялық үлгілері. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № (4). Б. 11–17 (ағылшын тілінде)
8. Рақышев Б. Шөгінді кен орындарындағы тау жыныстарының ұсақтау аймақтарын автоматтандырылған анықтау. / Б. Рақышев, З. Рақышева, А. Әуезова, А. Орынбай. // *Mining of Mineral Deposits*. 2022. № 16 (3). Б. 109–114 (ағылшын тілінде)
9. Рақышев Б.Р. Жарылған тау жынысы блогының координаталық торын автоматтандырылған анықтау / Б.Р. Рақышев, З.Б. Рақышева, А.А. Орынбай. // *Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень*. 2020. № 8. Б. 40–51 (орыс тілінде)
10. Рақышев Б.Р. Минералды шикізаттың сапасын және күрделілігін арттырудың технологиялық ресурстары. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2017. № (2). Б. 116–124 (ағылшын тілінде)

11. Пелих В.В. CVD6 концентраторындағы апатит-бадделейт байыту фабрикасының үйінді өнімдерінен бадделейтті алу моделі. / В.В. Пелих, В.М. Салов, А.Е. Бурдонов, Н.Д. Лукьянов. // Тау-кен институтының жазбалары. 2021. № 248. Б. 281–290 (орыс тілінде)
12. Туртыгина Н.А. Интрузив шатырында жатқан мыс кендері сапасының табиғи өзгергіштігін сандық бағалау. / Туртыгина Н.А., Охрименко А.В. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2019. №8. Б. 146–156 (орыс тілінде)

# REFERENCES

1. Shabarov A.N. Osnovnye napravleniya razvitiya gornodobyvayushchei otrasli v uslozhnyayushchikhsya gornotekhnicheskikh usloviyakh vedeniya gornyykh rabot. / A.N. Shabarov, A.D. Kuranov. // Gornyi zhurnal. 2023. № 5. С. 5–10 [Shabarov A.N. The main directions of development of the mining industry in the increasingly complex mining conditions of mining operations. / Shabarov A.N., Kuranov A.D. // Gornyi Zhurnal. 2023. № 5. P. 5–10] (in Russian)
2. Kantemirov V.D. Sovershenstvovanie metodov ucheta povyshennykh poter' i razubozhivaniya poleznogo iskopaemogo pri dobyche. / V.D. Kantemirov, R.S. Titov, A.V. Timokhin, A.M. Yakovlev. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2020. № 3–1. S. 453–464 [Kantemirov V.D. Improvement of methods of accounting for increased losses and dilution of minerals during production. / Kantemirov V.D., Titov R.S., Timokhin A.V., Yakovlev A.M. // MIAB. 2020. № 3-1. P. 453–464] (in Russian)
3. Lobyntsev A.K. Otsenka stepeni vliyaniya gornotekhnicheskikh faktorov na normativ gotovykh k vyemke zapasov pri proektirovanii otkrytoi razrabotki slozhnostrukturnykh rudnykh mestorozhdenii. / A.K. Lobyntsev, S.I. Fomin. // Ratsional'noe osvoenie neдр. 2021. № 5 (61). S. 40–43 [Lobyntsev A.K. Assessment of the degree of influence of mining factors on the standard of reserves ready for excavation in the design of open-pit mining of complex-structured ore deposits. / Lobyntsev A.K., Fomin S.I. // Rational development of mineral resources. 2021. № 5 (61). P. 40–43] (in Russian)
4. Cowan E.J. Deposit-scale structural architecture of the Sigma-Lamaque gold deposit, Canada –insights from a newly proposed 3D method for assessing structural controls from drill hole data. // Miner Deposita. 2020. № 55. P. 217–240 (in English)
5. Xing Jin. 3D geological modelling and uncertainty analysis for 3D targeting in Shanggong gold deposit (China). / Xing Jin, Gongwen Wang, Ping Tang, Changmiao Hu, Yaowen Liu, Sukun Zhang. // Journal of Geochemical Exploration. 2020. V. 210. P. 106442 (in English)
6. Chauvet A. Structural Control of Ore Deposits: The Role of Pre-Existing Structures on the Formation of Mineralised Vein Systems. // Minerals. 2019. № 9 (1). P. 56 (in English)
7. Rakishev B.R. Mining and geological models of virtual complex ore blocks of the bench. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2023. № 4. P. 11–17 (in English)
8. Rakishev B. Automated determination of rock crushing zones in the collapse. / Rakishev B., Rakisheva Z., Auezova A., Orynbay A. // Mining of Mineral Deposits. 2022. № 16 (3). P. 109–114 (in English)
9. Rakishev B.R. Avtomatizirovannoe opredelenie koordinatnoi setki vzorvannogo bloka massiva porod / B.R. Rakishev, Z.B. Rakisheva, A.A. Orynbay // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2020. № 8. S. 40–51 [Rakishev B.R. Computer-aided creation of coordinate grid for blasted rock block. / Rakishev B.R., Rakisheva Z.B., Orynbay A.A. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2020. № 8. P. 40–51] (in Russian)
10. Rakishev B.R. Technological resources for improving the quality and completeness of use of the mineral raw materials. // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2017. № (2). P. 116–124 (in English)
11. Pelikh V.V. Model' izvlecheniya baddeleyita iz otval'nykh produktov apatito-baddeleyitovoi obogatitel'noi fabriki na kontsentratore CVD6. / V.V. Pelikh, V.M. Salov, A.E. Burdonov, N.D. Luk'yanov. // Zapiski Gornogo instituta. 2021. T. 248. S. 281–290 [Pelikh V.V. A model for extracting baddeleyite from the waste products of an apatite-baddeleyite concentrator at the CVD6 concentrator. / Pelikh V.V., Salov V.M., Burdonov A.E., Lukyanov N.A. // Journal of Mining Institute. 2021. V. 248. P. 281–290] (in Russian)
12. Turtygina N. A. Kolichestvennaya otsenka prirodnoi izmenchivosti kachestva medistyykh rud, zalegayushchikh v krovle intruziva. / N.A. Turtygina, A.V. Okhrimenko. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2019. T. № 8. S. 146–156 [Turtygina N.A. Quantitative assessment of the natural variability of the quality of copper ores deposited in the roof of the intrusive. / Turtygina N.A., Okhrimenko A.V. // Mining information and analytical bulletin. 2019. V. № 8. P. 146–156] (in Russian)

**Сведения об авторах:**

**Ракишев Б.Р.**, академик НАН РК, д.т.н., профессор кафедры «Горное дело» НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [b.rakishev@satpayev.university](mailto:b.rakishev@satpayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-5445-070X>  
**Орынбай А.А.**, Ph.D, ВНС кафедры «Горное дело» НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [a.orynbay@aes.kz](mailto:a.orynbay@aes.kz); <https://orcid.org/0000-0002-3720-7625>  
**Ибырханов Т.С.**, докторант, МНС кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), [ibir.tem@mail.ru](mailto:ibir.tem@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-6344-8270>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Ракишев Б.Р.**, академик НАН РК, т.ғ.д., НАО «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)  
**Орынбай А.А.**, Ph.D, «Тау-кен ісі» кафедрасының ЖҒҚ, КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)  
**Ибырханов Т.С.**, «Тау-кен ісі» кафедрасының КҒҚ, докторанты, КеАҚ «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Rakishev B.R.**, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev» (Almaty, Kazakhstan)  
**Orynbay A.A.**, Ph.D, LR of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev» (Almaty, Kazakhstan)  
**Ibyrkhanov T.S.**, JR, doctoral student of the Mining Department of the NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev» (Almaty, Kazakhstan)



**TECH MINING**  
**СИБИРЬ**

www.techmining.ru

**ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ  
 ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**4-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ВЫСТАВКА И ТЕХНИЧЕСКИЙ  
 ВИЗИТ НА НОВОАНГАРСКИЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ**



**НОВОАНГАРСКИЙ  
 ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ  
 КОМБИНАТ**

**12-14 марта 2025  
 Красноярск**



16+





19 - 20 Марта 2025 года  
МАГАДАН

Горный Форум И Выставка

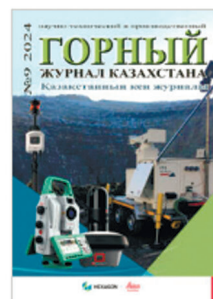
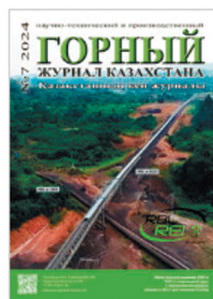
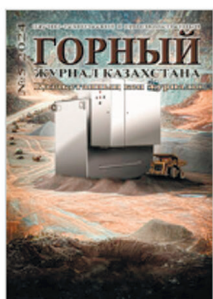
# ДАЛЬНИЙ ВОСТОК 2025

НЕ УПУСТИТЕ ШАНС СТАТЬ  
ЧАСТЬЮ ВАЖНОГО ДИАЛОГА,  
КОТОРЫЙ ИЗМЕНИТ КАРТУ  
БУДУЩЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
НАШЕГО РЕГИОНА!

[dvo.minexrussia.ru](http://dvo.minexrussia.ru)



## ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



**ПОДПИСКА' 2025**  
**РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ**  
**СОТРУДНИЧЕСТВО**

[POST-DTS@YANDEX.KZ](mailto:POST-DTS@YANDEX.KZ) / +7 747 343 15 02 / [MINMAG.KZ](http://MINMAG.KZ)

Код МРНТИ 36.23.27

Г. Рахимов, \*М.Б. Игемберлина, Ж. Алданыш, Ж.Қ. Қадыр  
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

## PHOTOMOD САНДЫҚ ФОТОГРАММЕТРИЯЛЫҚ ЖҮЙЕСІНДЕ 1:2000 МАСШТАБТЫ САНДЫҚ ОРТОФОТОПЛАНАРДЫ ҚҰРУ

**Аннотация.** Мақала 1:2000 масштабтағы цифрлық ортофотопландарды (ЦОФП) құру процесіне арналған – ортотрансформацияланған аэрофотосуреттерден жасалған егжей-тегжейлі топографиялық карталар. Мақалада жұмысты орындаудың негізгі кезеңдері бастапқы материалдарды кірісті бақылауды, фототриангуляция желісін құруды және цифрлық рельеф моделін құруды, мамандандырылған PHOTOMOD бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, суреттерді ортотрансформациялауды қамтиды. Процесс ішкі және сыртқы бағдарлауды, кескін блогын теңестіруді, алынған деректердің дәлдігін бақылауды қамтиды. Кезеңдердің сипаттамасы тірек және бақылау нүктелерін пайдалану мысалдарымен, өлшеу және теңестіру әдістерімен, сондай-ақ сапалы ортофотопландарды жасау бойынша ұсыныстармен нығайтылған. Қорытынды кескіндердің дәлдігі мен визуалды сапасының стандарттарын сақтауға ерекше назар аударылады.

**Түйінді сөздер:** сандық ортофотоплан, ішкі бағдарлау, сыртқы бағдарлау элементтері, блокты теңестіру, жер бедерінің сандық моделін құру, ортотрансформация.

### Creation of digital orthophotos at a scale of 1:2000 in the PHOTOMOD digital photogrammetric system

**Abstract.** The article is devoted to the process of creating 1:2000 scale digital orthophotoplanes (DSP) – detailed topographic maps made up of orthotransformed aerial photographs. The article presents the main stages of the work, including input control of raw materials, building a phototriangulation network and creating a digital terrain model, orthotransforming images using specialized PHOTOMOD software. The process includes internal and external orientation, alignment of the image block, and control of the accuracy of the received data. The description of the stages is supported by examples of the use of reference and control points, measurement and equalization methods, as well as recommendations for creating high-quality orthophotoplanes. Special attention is paid to compliance with the standards of accuracy and visual quality of the final images.

**Key words:** digital orthophoto, internal orientation, elements of external orientation, block alignment, creation of a digital terrain model, orthotransformation.

### Создание цифровых ортофотопланов в масштабе 1: 2000 в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD

**Аннотация.** Статья посвящена процессу создания цифровых ортофотопланов (ЦОФП) масштаба 1:2000 – детализированных топографических карт, составленных из ортотрансформированных аэрофотоснимков. В статье приведены основные этапы выполнения работ, которые включают входной контроль исходных материалов, построение сети фототриангуляции и создание цифровой модели рельефа, ортотрансформирование снимков с использованием специализированного программного обеспечения PHOTOMOD. Процесс включает внутреннее и внешнее ориентирование, уравнивание блока изображений, контроль точности полученных данных. Описание этапов подкреплено примерами использования опорных и контрольных точек, методов измерения и уравнивания, а также рекомендациями по созданию качественных ортофотопланов. Особое внимание уделено соблюдению стандартов точности и визуального качества итоговых изображений.

**Ключевые слова:** цифровой ортофотоплан, внутреннее ориентирование, элементы внешнего ориентирования, уравнивание блока, создание цифровой модели местности, ортотрансформация.

### Кіріспе

Бүгінгі таңда кадастрдағы аэрофототүсірілім өте өзекті, өйткені ол жер учаскелері туралы нақты, егжей-тегжейлі және жедел ақпарат береді, сонымен қатар жер ресурстарын есепке алу мен басқаруға байланысты әртүрлі міндеттерді тиімді шешуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, аэрофототүсірілім әртүрлі аймақтардағы жерді бақылаумен айналысатын кадастрлық органдар үшін маңызды болып табылатын үлкен аумақтарды жедел қамтуға мүмкіндік береді. Аэрофототүсірілім және кейіннен геоақпараттық жүйелерді (ГАЗ) пайдалану арқылы жер учаскелерінің ауданын, шекара ұзындығын және басқа сипаттамаларын анықтауға байланысты өлшеулер мен есептеулерді автоматты түрде жүргізуге болады.

Ортофотоплан (цифрлық) – номенклатуралық парақтар шеңберінде немесе берілген шекараларда ұсынылатын және белгілі бір номиналды кеңістіктік ажыратымдылықпен сипатталатын ортотрансформацияланған аэрофотосуреттерден тұратын топографиялық сандық фотоплан [1].

Жерді қашықтықтан зондтаудың заманауи ғарыш аппараттары бір пиксельге 15 см-ге дейін кеңістіктік ажыратымдылыққа ие және үлкен аумақтарға жедел ақпарат алу үшін жоғары көрініске ие. Ал дрондар бір пиксельге 2–5 см дейінгі кеңістіктік ажыратымдылықтағы кескіндерді тез алуға мүмкіндік береді.

Осыған сәйкес ғарыштық және аэрофотосуреттер 1:5000-ға дейінгі масштабта ортофотопландар жасауға (ғарыштық суреттерді қолдана отырып); 1:500-ге дейінгі

масштабта ортофотопландар жасауға (ҰҰА көмегімен); ортокоррекция үшін жоғары дәлдіктегі ЖСМ жасауға; бұрын есепке алынбаған объектілерді анықтауға; жергілікті жер объектілерінің жай-күйіне жедел ден қоюға; шолу және деректерді алу жылдамдығы есебінен жұмыстарды жүргізу мерзімдерін айтарлықтай қысқартуға мүмкіндіктер береді [2, 3].

СОФП (Сандық ортофотопландар) құру жөніндегі жұмыстарды орындау мынадай схема бойынша орындалады:

1. АФТ материалдарын кіріс бақылау. Бұлттылық пен бұрмаланулардың бар-жоғына, жұмыс ауданының қамтылуының толықтығына суреттерді визуалды тексеру жүргізіледі. Сондай-ақ, суретке түсіру негіздері, суреттердің қабаттасуы, маршруттардың түзулігі, сондай-ақ СБЭ (сыртқы бағдарлау элементтері) каталогтары тексеріледі.

2. Фототриангуляция желісін құру және теңестіру. Бұл кезеңде бастапқы координаттар жүйесінде жобаны құру, ішкі және сыртқы бағдарлау, далалық өлшеулерде алынған бақылау және тірек нүктелерін өлшеу жүзеге асырылады, содан кейін жобаны теңестіру жүзеге асырылады.

3. Жер бедерінің сандық моделін құру. Жер бедерінің сандық моделі нүктелік бұлт, оны сузу және құрылымдық сызықтар жасау негізінде немесе тығыз сандық модель жасау әдісін қолдану арқылы жасалады.

4. Ортотрансформация. Аэрофотосуреттерді ортотрансформациялау өңдеудің алдыңғы кезеңінде жасалған



жер бедерінің сандық моделі көмегімен жүзеге асырылады.

5. *Ортотрансформаланған суреттердің фрагменттерінен ортофотопланды монтаждау.* Жасалған және өңделген кескіндердің көмегімен мозаика фрагменттерін бір кескінге тігу. Қажет болған жағдайда номенклатуралық парақтарға кесу

6. *СОФП дәлдігін бақылау.* Дәлдікті бақылау тірек және бақылау нүктелерінде, фрагменттердің (кескіндердің) қосылу сызықтарында орындалады, сонымен қатар растрлық файлдардың параметрлері тексеріледі [4].

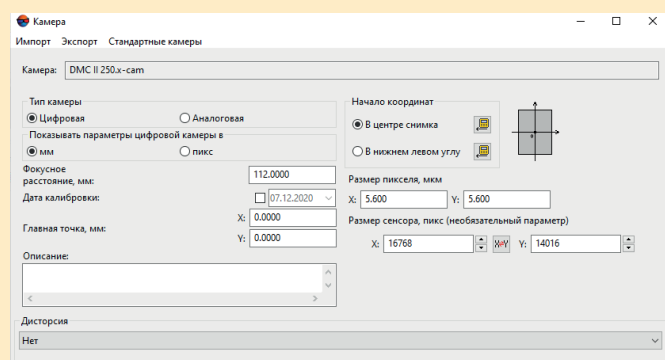
### Зерттеу әдістері

PHOTOMOD бағдарламасында сандық ортофотопландарды кезең-кезеңімен құруды қарастырайық.

*Жобаны құру.* Жобаны құру кезінде бастапқы кескіндерге байланысты оның түрін көрсету керек, координаттар жүйесін таңдап, жердің биіктігін орнату керек. Содан кейін одан әрі өңдеу үшін аэрофотосуреттерді жүктейміз.

*Ішкі бағдарлау.* Ішкі бағдарлау элементтері түсіру процесінің геометриялық сипаттамаларын анықтайды. Аэротүсірілімнің ішкі бағдарлау элементтері аэротүсірілімге қатысты жобалау центрінің орнын табуға және суретке түсіру кезінде жобалау сәулелерінің (сәулелер байламдарының) өзара орналасуын қалпына келтіруге мүмкіндік береді [5].

Ішкі бағдарлау элементтеріне объективтің фокустық қашықтығы және негізгі нүктенің екі өлшемді координаттары жатады (бірақ суретке түсіру кезінде енгізілген бұрмаланулардың сипаты да ескерілуі мүмкін, мысалы, объективтің бұрмалануы, фотоматериалдың деформациясы). Жоба камерасын жасау кезінде камера паспортының параметрлері қолданылады (сурет 1).



Сурет 1. Ішкі бағдарлау элементтерін дайындау.  
Figure 1. Preparation of elements of internal orientation.

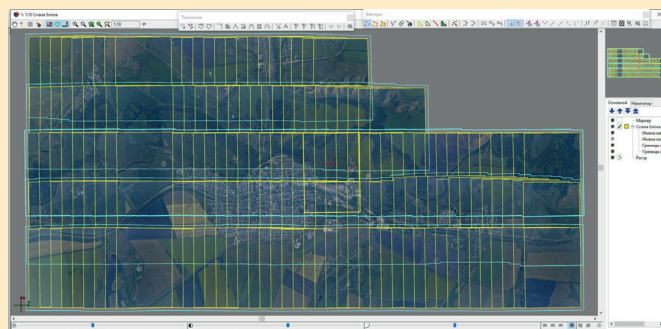
Рис. 1. Подготовка элементов внутреннего ориентирования.

Камера жасалғаннан кейін оны жобаның барлық суреттеріне тағайындау керек. Осылай ішкі бағдарлау жұмыстарын аяқтағаннан кейін сыртқы бағдарлау элементтерін жүктеу жұмыстары жүргізіледі.

Сыртқы бағдарлау элементтерін жүктеу (СБЭ). Маршруттағы суреттерді бір-біріне қатысты бағдарлау үшін сыртқы бағдарлау элементтерін орнату қажет. Аэротүсі-

рілімнің сыртқы бағдарлау элементтері кеңістіктегі сәулелер шоғырының орнын анықтайды және ішкі бағдарлау элементтерімен бірге суретке түсіру кезінде координаттар жүйесіне қатысты жобалау сәулелерінің орнын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Сыртқы бағдарлау элементтеріне проекция центрінің үш өлшемді координаттары, суреттің бойлық және көлденең бұрыштары және айналу бұрышы жатады.

СБЭ жүктелгеннен кейін біз маршруттарға бөлеміз және қаптаманы орнатамыз (сурет 2).

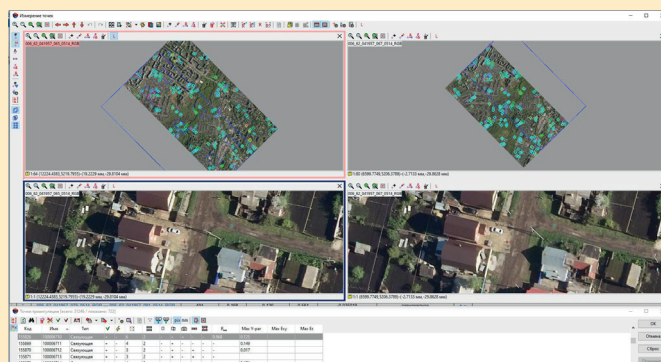


Сурет 2. Маршруттарға бөлу және қаптаманы орнату.  
Figure 2. Splitting into routes and building a folding installation.

Рис. 2. Разбиение на маршруты и построение накидного монтажа.

Маршруттарға бөліп, талап етілетін қаптаманы орнату жүзеге асырылған соң, байланыстырушы нүктелерді өлшейміз.

*Өзара бағдарлау.* Автоматты режимде байланыстырушы нүктелер өлшенеді (сурет 3). Байланыстырушы нүктелерді автоматты түрде өлшегеннен кейін біз өзара бағдарлау есебін ашамыз, қателерді түзетеміз, егер маршруттар байланыспаса немесе нүктелер жеткіліксіз болса, нүктелерді қолмен қосамыз. Ең жақсы нұсқа – стерео жұптағы 12–18 байланыстырушы нүктені өлшеу (6 стандартты аймақтың әрқайсысында 2–3 нүктеден), егер өлшеу қолмен жасалса.



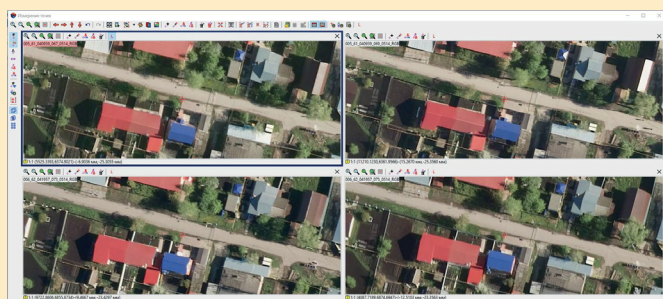
Сурет 3. Автоматты өлшеу режимінде алынған стерео жұптың байланыстырушы нүктелері.  
Figure 3. Connecting points of the stereo pair obtained in the automatic measurement mode.

Рис. 3. Связующие точки стереопары, полученные при автоматическом режиме измерений.



Тірек және бақылау нүктелерін жүктеу және өлшеу. Орташа өлшемді блокқа (15 стерео жұптан 10 маршрут) «конверт» схемасы бойынша орналастыра отырып, кемінде бес жоспарлы-биіктік белгілерін анықтау қажет. Блоктың үлкен көлемімен және желінің дәлдігіне қойылатын талаптардың жоғарылауына байланысты қажетті белгілердің саны артады. Ең алдымен, қосымша белгілерді блоктың бүйірлерінің ортасына, содан кейін оның ауданы бойынша біркелкі орналастыру керек. Белгілер ретінде аэрофотосуреттерде айқын танылатын объектілерді және рельефтің нақты контурларын таңдау қажет [6, 7].

Тірек және бақылау нүктелерінің каталогын импорттағаннан кейін стерео режимде стерео жұптағы әрбір нүктені өлшейміз. 4 суретте тірек нүктелерін өлшеу терезесі көрсетілген. Бұл жағдайда белгі ретінде алаңның солтүстік-батыс бұрышы алынып өлшенген.



**Сурет 4. Тірек нүктелерін өлшеу.**

**Figure 4. Measurement of reference points.**

**Рис. 4. Измерение опорных точек.**

Сыртқы бағдарлау, блокты теңестіру. PHOTOMOD бағдарламасы кескін блогын теңестірудің 3 әдісін ұсынады:

1. Тәуелсіз маршрут әдісі өрескел қателерді анықтау үшін қолданылады (мысалы, тірек нүктелерінің координаттары дұрыс емес, байланыстырушы нүктелердің орналасу қателері). Бұл әдіспен ұзын маршруттарды теңестіру дәлдігі (10-нан астам сурет) басқа екі әдіспен теңестіру дәлдігінен ондаған есе нашар болуы мүмкін.

2. Тәуелсіз стерео жұптар әдісі бірінші теңестіру әдісінің дәлдігін жақсарту, нәзік қателерді анықтау және түпкілікті теңестіру үшін қолданылады.

3. Байлам әдісі блокты түпкілікті теңестіру үшін қолданылады.

Біз блокты барлық нүктелер теңестіру дәлдігіне қойылатын барлық талаптарға сәйкес шектік мәнге жеткенше теңестіреміз.

Жобаны теңестіру аяқталғаннан кейін теңестіру туралы есеп жасалады, онда:

- жобаның барлық нүктелерінің каталогы;
- тірек, бақылау және байланыстырушы нүктелердегі, проекция центрлеріндегі және тұтастай алғанда блок бойынша және әрбір нүкте бойынша қиылыспаушылықтар;
- суреттердің сыртқы бағдарлау элементтері көрсетіледі.

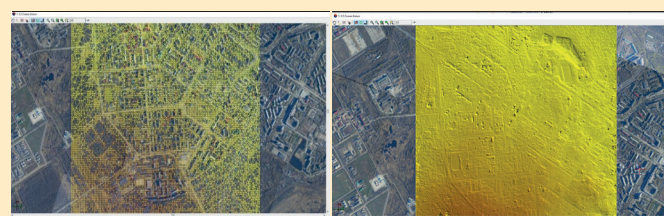
Жер бедерінің сандық моделін (ЖБСМ) құру. Орындалған аэрофототүсірілім негізінде жұмыс ауданының ЖБСМ әдетте аралас фотограмметриялық әдіспен құрылады (сурет 5):

- автоматты түрде жасалған және сүзілген пикеттер мен қолмен стерео режимде оператор жасаған құрылымдық сызықтар арқылы;

- сүзілген және жер бетінің деңгейіне келтірілген жер бедерінің тығыз моделі.

Пикеттердің көмегімен ЖБСМ құру келесі схема бойынша орындалады: Пикеттер > Пикеттерді сүзу > Құрылымдық сызықтар > TIN > DEM > Дәлдікті бақылау.

Тығыз модельді құру келесі схема бойынша жүзеге асырылады: Тығыз DEM > Сүзу > Интерполяция > Дәлдікті бақылау [8].



*a*

*b*

**Сурет 5. Жер бедерінің сандық моделін құру:**

*a* – пикеттер көмегімен; *b* – тығыз модель.

**Figure 5. Building a digital terrain model:**

*a* – using pickets; *b* – a dense model.

**Рис. 5. Построение ЦМР:**

*a* – с помощью пикетов; *b* – плотная модель.

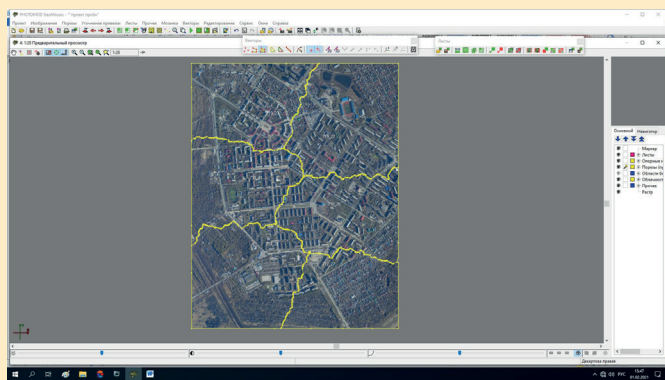
Жоғарыда құрылған ЖБСМ әрі қарай аэрофотосуреттерді ортотрансформациялауды жүзеге асыруға көмектеседі.

Суреттерді ортотрансформациялау аэрофотосуреттің бастапқы ажыратымдылығын міндетті түрде сақтай отырып, ЖБСМ көмегімен орындалады.

### **Зерттеу нәтижелері**

GeoMosaic-те сандық ортофотоплан (СОФП) құру. Мозаика фрагменттерін ортофотопланға тігу көршілес фотосуреттердің түсі мен реңін теңестірумен орындалуы керек. Ортотрансформацияланған суреттерден ортофотопланды монтаждау кезінде тек олардың орталық бөліктері ғана пайдаланылуы керек, осылайша монтаждалған суреттер арасындағы шекара (кесу сызығы) қабаттасатын бөліктердің шамамен ортасынан өтеді. Бұл жағдайда кесу сызығы айқын контуры жасанды объектілердің бейнесі бойынша өтетін жағдайларды азайтып, біркелкі құрылымы бар табиғи аудандық нысандардың (егістік, орман, шалғын, бос жер, батпақ және т. б.) біртекті кескінінде немесе сызықтық нысандардың (жол жиегіне жақын, ауылдық жолдың жанында) бойында (жанында) орналасуына барынша көңіл бөлу қажет (сурет 6). Айқын сызықтық контурлармен (автомобиль жолы, теміржол және т. б.) тігіс сызығы 90°-қа жақын бұрышта қиылысуы керек [9].

Барлық жасалған кесу сызықтарын артық қиылыспауын қарап шығу керек. Кесу сызығы (трансформация аймағының шекаралары) биіктік нысандар мен бағдарлар ретінде қызмет ететін нысандарды кесіп өтпеуі керек. Кесу сызықтарын соңғы бақылау кезінде ортотрансфор-



**Сурет 6. Ортотрансформацияланған кескіндердің фото реңі теңестірілген бөліктерінің кесу сызығы арқылы тігілуі.**

**Figure 6. Stitching fragments of phototone-aligned orthotransformed images using cuts.**

**Рис. 6. Сшивка фрагментов, выровненных по фототону ортотрансформированных изображений с помощью порезов.**

мациялау үшін қолданылатын матрицада «тесіктер» мен артефактілердің болмауын қадағалау қажет. Фрагменттерді тігу кезінде монтаждалған суреттердің түйіскен жеріндегі контурлардың туралануы, яғни кесу сызықтары бойынша бақылануы керек. Объектілер контурларының сәйкес келмеуі мәндері ортофотопландар масштабында 0,5 мм аспауға тиіс.

Жұмыстың келесі кезеңінде номенклатуралық парақтарға кесу және қорытынды өнімді – сандық ортофотопланды алу жүзеге асырылады (сурет 7).



**Сурет 7. Сандық ортофотоплан.**

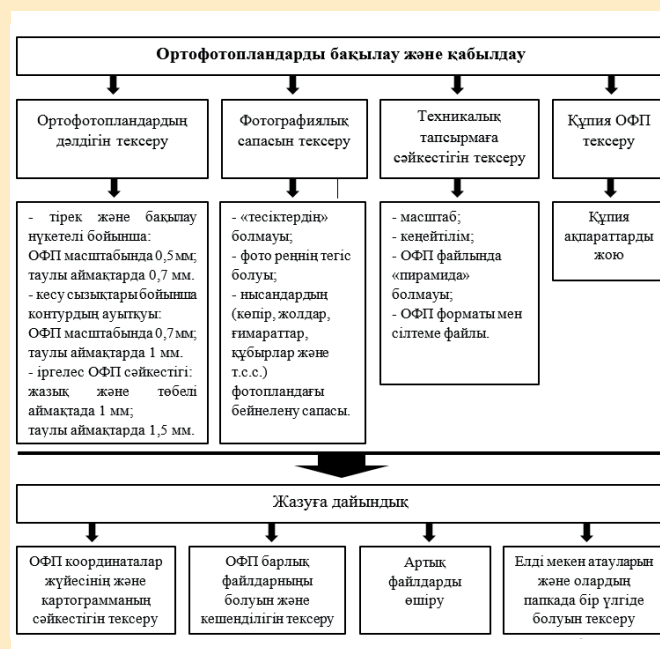
**Figure 7. Digital orthophoto.**

**Рис. 7. Цифровой ортофотоплан.**

Жергілікті ортофотопландар карталарды, топопландар мен схемаларды жасау үшін кеңістіктік негіз ретінде де, картография, кадастрлық жұмыстар, инженерлік ізденістер және т.б. үшін дербес өнім түрінде де қолданылады.

### Нәтижелер және оларды талқылау

СОФП құрылғаннан кейін тірек және бақылау нүктелері бойынша дәлдікті бақылауды жүргізу (сурет 8). Жазық және төбелі аймақтар үшін ортофотопландағы бақылау нүктелерінің жоспарлы жағдайындағы шекті ауытқулар құрылатын СОФП масштабында 0,5 мм-ден, таулы аймақтарда үшін – 0,7 мм-ден аспауға тиіс [10].



**Сурет 8. Ортофотопландарды бақылау және қабылдау.**

**Figure 8. Control and acceptance of orthophotos.**

**Рис. 8. Контроль и приемка ортофотопланов.**

Қателер анықталған жағдайда, ЖБСМ-не немесе байланыстырушы нүктелерге түзетулер енгізіледі және суреттер қайта ортотрансформацияланады.

### Қорытынды

Қорытындылай келе, аэрофототүсірілім мен геоақпараттық жүйелердің (ГАЗ) қолданылуы қазіргі кадастрлық жұмыстардың тиімділігін арттырады. Бұл технологиялар жер учаскелері мен ресурстарын есепке алу, басқару және бақылауда маңызды рөл атқарады. Аэрофототүсірілімдер үлкен аумақтарды жедел қамтуға мүмкіндік береді, сондай-ақ жердің нақты сипаттамалары мен ауданын анықтауға автоматты өлшеулер мен есептеулер жүргізуге мүмкіндік туғызады. Сандық ортофотопландар мен жер бедерінің сандық модельдерін (ЖБСМ) құру процесі арқылы орнатылған дәлдік жоғары, бұл жергілікті аумақтарды тиімді басқаруға және олардың жағдайын бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, аэрофотосуреттердің ортотрансформациясы мен мозаикалаудың



әдістері жергілікті карталарды, топографиялық схемаларды жасау үшін және инженерлік ізденістерде пайдалы нәтижелер береді. Бұл зерттеу мен технологиялар кадастрлық қызметтердің нәтижелі жұмысын қамтамасыз етеді және алдағы уақытта осы саланың дамуына үлкен әсерін тигізеді.

#### АЛҒЫС

Авторлар «GeoServiceKRG» ЖШС қызметкерлеріне және «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ-ның МІ және Г кафедрасының профессорлық-оқытушылық құрамына осы мақаланы жазуға көмектері мен кеңестері үшін алғыстарын білдіреді.

#### ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фотограмметрия. Сандық фотограмметрия: 1-31 02 01 «География» мамандығының студенттеріне арналған ОӘК. / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов. – Новополюск: ПГУ, 2016. – 140 б. (орыс тілінде)
2. Jovanovi'c D. «Ақылды қалалар» қосымшалары үшін қаланың виртуалды 3D моделін құру: Нови Сад университетінің кампусындағы практикалық мысал. / Jovanovi'c D., Milovanov S., Ruskovski I., Govedarica M., Sladi'c D., Radulovi'c A. et al. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2020. № 9 (8). Б. 476 (ағылшын тілінде)
3. Pepe M. VHR спутниктік стерео кескіндеріне негізделген қаланың 3D моделін құруға арналған терең оқытуға, ГАЗ және геометриялық Бағдарламалық жасақтамаға негізделген жаңа әдіс. / Pepe M., Costantino D., Alfio V.S., Vozza G., Cartellino E. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2021. № 10 (10). Б. 697 (ағылшын тілінде)
4. Gerke M. et al. Қығаш әуедегі кескіндер жиынтығының бағыты-ISPRS тәжірибесі/EUROSDR benchmark on multi-platform photogrammetry. // Фотограмметрия, Қашықтықтан Зондау және Кеңістіктік ақпараттық ғылымдардың халықаралық мұрағаты, XLI-B1 бөлімі, ISPRS XXIII Конгресі. 2016. № 41. Б. 185–191 (ағылшын тілінде)
5. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Жобаны құру. М.: Ракурс, 2020. – 169 б. (орыс тілінде)
6. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Желіні құру. М.: Ракурс, 2020. – 271 б. (орыс тілінде)
7. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Желіні теңестіру. М.: Ракурс, 2020. – 105 б. (орыс тілінде)
8. PHOTOMOD сандық фотограмметриялық жүйесі. Пайдаланушы нұсқаулығы. Жер бедерінің сандық моделін құру. М.: Ракурс, 2020. – 301 б. (орыс тілінде)
9. Wang C. Қалалық Лидар деректері үшін пикселдерді салыстыру ерекшеліктеріне негізделген кездейсоқ орман жіктеуіші. / Wang C., Shu Q., Wang X., Guo Bo, Liu P., Li Q. // ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. Б. 75–86 (ағылшын тілінде)
10. Қолданбалы фотограмметрия: жоғары оқу орындарына арналған оқулық: 21.04.02 Фотограмметрия және кадастрлар мамандығы бойынша оқитын жоғары оқу орындарының студенттері үшін / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академиялық жоба, 2016, 254 б. (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Fotogrammetriya. Tsifrovaya fotogrammetriya: UMK dlya studentov spetsial'nosti 1-31 02 01 «Geografiya» / A.A. Mikheeva, V.V. Yaltykhov. Novopolotsk: PGU, 2016, 140 s. [Photogrammetry. Digital photogrammetry: UMK for students of specialty 1-31 02 01 «Geography» / A.A. Mikheeva, V.V. Yaltykhov. Novopolotsk: PSU, 2016. 140 p.] (in Russian)
2. Jovanovi'c D. Building virtual 3D city model for smart cities applications: a case study on campus area of the university of Novi Sad. / Jovanovi'c D., Milovanov S., Ruskovski I., Govedarica M., Sladi'c D., Radulovi'c A. et al. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2020. № 9 (8). P. 476 (in English)
3. Pepe M. A novel method based on deep learning, GIS and geomatics software for building a 3D city model from VHR satellite stereo imagery. / Pepe M., Costantino D., Alfio V.S., Vozza G., Cartellino E. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2021. № 10 (10). P. 697 (in English)
4. Gerke M. et al. Orientation of oblique airborne image sets-experiences from the ISPRS/EUROSDR benchmark on multi-platform photogrammetry. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016, XXIII ISPRS Congress. 2016. № 41. P. 185–191 (in English)
5. Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema PHOTOMOD. Rukovodstvo pol'zovatelya. Sozdanie proekta. M.: Rakurs, 2020. – 169 s. [PHOTOMOD digital photogrammetric system. User's Guide. Creation of the project. M.: Rakurs, 2020. – 169 p.] (in Russian)
6. Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema PHOTOMOD. Rukovodstvo pol'zovatelya. Postroenie seti. M.: Rakurs, 2020. – 271 s. [PHOTOMOD digital photogrammetric system. User's Guide. Building a network. M.: Rakurs, 2020. – 271 p.] (in Russian)
7. Rukovodstvo pol'zovatelya. Uravnivanie seti. M.: Rakurs, 2020. – 105 s. [User's Guide. Equalization of the network. M.: Rakurs, 2020. – 105 p.] (in Russian)
8. Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema PHOTOMOD. Rukovodstvo pol'zovatelya. Sozdanie tsifrovoy modeli rel'efa. M.: Rakurs, 2020. – 301 s. [PHOTOMOD digital photogrammetric system. User's Guide. Creating a digital relief model. M.: Foreshortening, 2020. – 301 p.] (in Russian)

9. Wang C. A random forest classifier based on pixel comparison features for urban LiDAR data. / Wang C., Shu Q., Wang X., Guo Bo, Liu P., Li Q. // ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. P. 75–86 (in English)
10. Prikladnaya fotogrammetriya: uchebnik dlya vuzov: dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki 21.04.02 – Fotogrammetriya i kadastry / A.N. Limonov, L.A. Gavrilova. M.: Akademicheskii projekt, 2016, 254 s. [Applied photogrammetry: textbook for universities: for students of higher educational institutions studying in the field of training 04/21/02 – Photogrammetry and cadastres / A.N. Limonov, L.A. Gavrilova. M.: Academic project, 2016, 254 p.] (in Russian)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фотограмметрия. Цифровая фотограмметрия: УМК для студентов специальности 1-31 02 01 «География» / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов. Новополюк: ПГУ, 2016, 140 с. (на русском языке)
2. Jovanovi'c D. Создание виртуальной 3D-модели города для приложений «умных городов»: практический пример на территории кампуса университета Нови-Сада. / Jovanovi'c D., Milovanov S., Ruskovski I., Govedarica M., Sladi'c D., Radulovi'c A. et al. // ISPRS Int. J. Geo. Inf. 2020. № 9 (8). С. 476 (на английском языке)
3. Пере М. Новый метод, основанный на глубоком обучении, ГИС и геоматическом программном обеспечении для построения 3D-модели города на основе спутниковых стереоизображений VHR. / Пере М., Costantino D., Alfio V.S., Vozza G., Cartellino E. // ISPRS. Int. J. Geo. Inf. 2021. № 10 (10). С. 697 (на английском языке)
4. Gerke M. et al. Ориентация наборов наклонных бортовых изображений – результаты тестирования ISPRS/EUROSDR по мультиплатформенной фотограмметрии. // Международный архив Фотограмметрии, Дистанционного зондирования и Наук о пространственной информации, Том XLI-B1, 2016, XXIII Конгресс ISPRS. 2016. № 41. С. 185–191 (на английском языке)
5. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. Создание проекта. М.: Ракурс, 2020. – 169 с. (на русском языке)
6. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. Построение сети. М.: Ракурс, 2020. – 271 с. (на русском языке)
7. Руководство пользователя. Уравнивание сети. М.: Ракурс, 2020. – 105 с. (на русском языке)
8. Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD. Руководство пользователя. Создание цифровой модели рельефа. М.: Ракурс, 2020. – 301 с. (на русском языке)
9. Wang C. Классификатор случайных лесов, основанный на характеристиках сравнения пикселей для городских лидарных данных. / Wang C., Shu Q., Wang X., Guo Bo., Liu P., Li Q. // ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. С. 75–86 (на английском языке)
10. Прикладная фотограмметрия: учебник для вузов: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 – Фотограмметрия и кадастры / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академический проект, 2016, 254 с. (на русском языке)

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Рахимов Г.**, т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [gelman.rakhimov@mail.ru](mailto:gelman.rakhimov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4930-4075>

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

**Алданыш Ж.**, т.ғ.м., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), [zhadra.bota.90@mail.ru](mailto:zhadra.bota.90@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4106-0176>

**Қадыр Ж.К.**, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан), [zhanibek.kadyr@mail.ru](mailto:zhanibek.kadyr@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-1440-161X>

#### Information about the authors:

**Rakhimov G.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

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

**Aldanysh Zh.**, Master of Engineering Science, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Kadyr Zh.K.**, undergraduate student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

#### Сведения об авторах:

**Рахимов Г.**, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

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

**Алданыш Ж.**, м.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Қадыр Ж.К.**, магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)



# MinTech 2025

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И  
ТЕХНОЛОГИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ  
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**



**КАЗАХСТАН**

**21-23 мая  
г. Усть-Каменогорск**

**27-29 мая  
г. Павлодар**

**15-17 октября  
г. Актобе**

**БИЗНЕС-ТУРЫ НА ВЕДУЩИЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КАЗАХСТАНА**



**АО «Алюминий Казахстана»**



**Актюбинский завод  
ферросплавов АО ТНК  
«Казхром»**



**ТОО «АЭС  
Усть-Каменогорская ГЭС»**

Организаторы:



+7 708 568-91-08



+7 707 456-53-07



kazexpo\_tech



kazexpo.kz



tech@kazexpo.kz



Код МРНТИ 36.01.81

М.Б. Нурпеисова, \*Б. Мынгжасаров, Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова  
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## АКТУАЛЬНОСТЬ СТАДИИ ПОДГОТОВКИ GNSS НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

**Аннотация.** Планирование GNSS измерений играет важную роль в обеспечении высокой точности получаемых данных. Но на практике не всегда получается заранее спланировать весь процесс работ, и приходится действовать по обстоятельствам. Например, при создании и развитии опорной сети, расположение и время измерений точек сети не всегда сходятся с «правильными принципами» построения опорной сети. К этим «принципиальным» моментам можно отнести правильную геометрию сети, выбор оптимального времени суток для измерений с учетом альманахов, атмосферные явления, влияющие на сами измерения, выбор места расположения станции, которая будет минимально подвержена отражению или же доступности сигнала. Несмотря на эти сложности, тщательная организация и оперативное реагирование на изменяющиеся условия позволяют добиться необходимых результатов.

**Ключевые слова:** GNSS, DOP, PDOP, искусственные спутники Земли, планирование наблюдений.

### Қолданбалы мәселелерді орындауда GNSS бақылауын дайындау кезеңінің өзектілігі

**Аннотация.** GNSS өлшемдерін жоспарлау алынған мәліметтердің жоғары дәлдігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Бірақ іс жүзінде барлық жұмыс процесін алдын-ала жоспарлау әрқашан мүмкін емес және мұнда жағдайларға сәйкес әрекет етуіңіз керек. Мысалы, негізгі желіні құру және дамыту кезінде желі нүктелерінің орны мен өлшеу уақыты әрқашан негізгі желіні құрудың «дұрыс принциптерімен» сәйкес келе бермейді. Бұл «іргелі» нүктелерге желінің дұрыс геометриясы, альманахтарды ескере отырып өлшеулер үшін тәуліктің оңтайлы уақытын таңдау, өлшемдерге әсер ететін атмосфералық құбылыстар, осындай шағылысуларға ең аз сезімтал болатын станция орнын таңдау немесе сигналдың қолжетімділігін жатқызуға болады. Осы қиындықтарға қарамастан, мұқият ұйымдастыру және өзгеретін жағдайларға жылдам әрекет ету қажетті нәтижелерге қол жеткізе алады.

**Түйінді сөздер:** GNSS, DOP, PDOP; Жердің жасанды серіктері, өлшеулер уақытын қадағалау.

### Relevance of the GNSS observation preparation stage in solving applied tasks

**Abstract.** Planning GNSS measurements plays a crucial role in ensuring the high accuracy of the data obtained. However, in practice, it is not always possible to plan the entire workflow in advance, and one has to adapt to circumstances. For instance, when creating and developing a reference network, the location and timing of network point measurements do not always align with the «correct principles» of reference network construction. These «principled» aspects include proper network geometry, selecting the optimal time of day for measurements based on almanacs, atmospheric phenomena affecting the measurements, and choosing a station location that minimizes signal reflections or ensures signal accessibility. Despite these challenges, through organization and prompt adaptation to changing conditions allow achieving the desired results.

**Key words:** GNSS, DOP, PDOP; artificial Earth satellites; observation planning.

### Введение

Перед началом любого капитального строительства делается геодезическая разбивочная основа (ГРО). Это разметка специальных точек с точными координатами и высотами. В дальнейшем опорная сеть используется для межевания, строительства и создания карт. В строительстве создание ГРО необходимо для правильного и точного возведения зданий. С помощью нее определяют расположение строений на плане, а также их габариты и формы. После этого расставляются опорные точки, а уже после закрепляются пункты. В конце работ составляется акт, который является важной частью проектно-строительной документации. Без него строительные работы не начинают.

### Методы/исследования

Для исследования значимости этапа планирования наблюдений были использованы данные проведенных статистических измерений при развитии ГРО Капчагайской гидроэлектростанции. Гидроэнергетика представляет собой значимый сектор стратегии Казахстана по диверсификации всего энергетического направления страны. В этом контексте особенно интересна Капчагайская ГЭС – единственная гидроэлектростанция на реке Или.

Строительство Капчагайской ГЭС было необходимо для обеспечения развивающегося города Алматы и ее городов-спутников недорогой электроэнергией. А в настоящее время она стала важным фактором в развитии города Конаева, способствуя формированию коммунальной, образовательной, медицинской и культурной инфраструктур. Интенсивное развитие города Кунаева, выражающееся в изменении его планировки, появлением новых крупных

объектов и сооружений, а также безопасной эксплуатации таких стратегических и ответственных инженерных сооружений, как Капчагайская ГЭС, достигается проведением геодезического мониторинга.

Ранее для выполнения строительных работ на территории Капчагайской ГЭС была создана геодезическая основа. В первом случае измерения осуществлялись в тщательно выбранный момент, с учетом анализа альманаха спутников и при благоприятных погодных условиях. Во втором случае измерения проводились на следующий день в условиях дождливой погоды, при этом рядом работала буровая машина, что могло создавать помехи и отражения сигнала.

Влияние планирования на конечную точность данных GNSS может быть значительным и включает в себя следующие аспекты:

- выбор оптимального набора спутников с учетом их расположения на небе, геометрии конфигурации и степени ослабления сигнала позволяет улучшить точность позиционирования;

- планирование также включает выбор времени, в течение которого будут проводиться измерения. Некоторые временные интервалы могут быть более благоприятными для измерений, чем другие, например, избегание периодов с сильными солнечными вспышками или сильными геомагнитными бурями, которые могут существенно влиять на качество сигнала;

- местоположение приемника GNSS важно для обеспечения высокой точности данных. Учитываются факторы, такие как видимость спутников, препятствия в виде зданий или рельефа местности, которые могут затруднить получение сигнала;

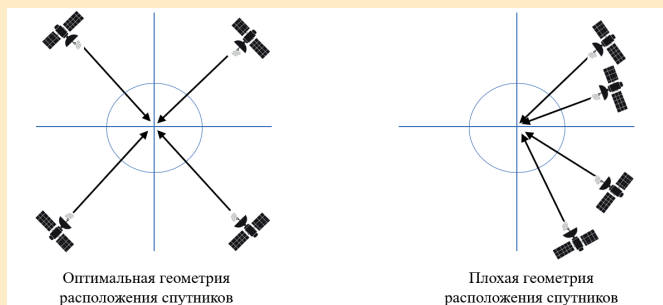


- учет атмосферных условий, таких как ионосферные эффекты или атмосферные искажения сигнала могут влиять на точность данных GNSS. Принятие этих факторов позволяет корректировать измерения и повышать точность получаемых результатов [1-3].

Для оптимального планирования GNSS измерений необходимо выбрать конкретную дату и время с учетом параметра «снижения точности» (PDOP). Учитывая, что полный оборот спутников GNSS вокруг Земли занимает около 12 часов, их расположение на небесной сфере постоянно меняется. Поэтому для точного планирования необходимо указать точную дату и время проведения измерений. Полученные результаты будут актуальны в течение нескольких дней (до одной недели), после чего рекомендуется обновление альманаха и повторное планирование [4].

Основным параметром для оценки наилучшего времени для проведения ГНСС измерений является параметр PDOP (параметр «снижения точности» – Position Dilution Of Precision). Фактор (параметр) снижения точности DOP – геометрический фактор качества обратной пространственной засечки. DOP зависит от взаимного расположения спутников и приемника. DOP – это увеличительный фактор, который преобразует шум спутниковых измерений в шум конечного решения. Чем ниже DOP, тем более точное решение (координаты). Чем выше DOP, тем менее точные координаты. Также DOP зависит от геометрического расположения спутников относительно наблюдаемых объектов (рис. 1).

Дополнительно следует учитывать важность корректной настройки оборудования и калибровки приемника перед проведением измерений. Неправильно откалиброванный приемник может стать источником систематической ошибки, которая существенно повлияет на точность результата. Калибровка фазового центра антенны и учет изменений в характеристиках приемника важны для минимизации источников ошибок и улучшения качества данных [5].



**Рис. 1. Иллюстрация расположения навигационных спутников относительно наблюдаемого пункта.**

**Сурет 1. Бақыланатын нүктеге қатысты навигациялық спутниктердің орналасуының иллюстрациясы.**

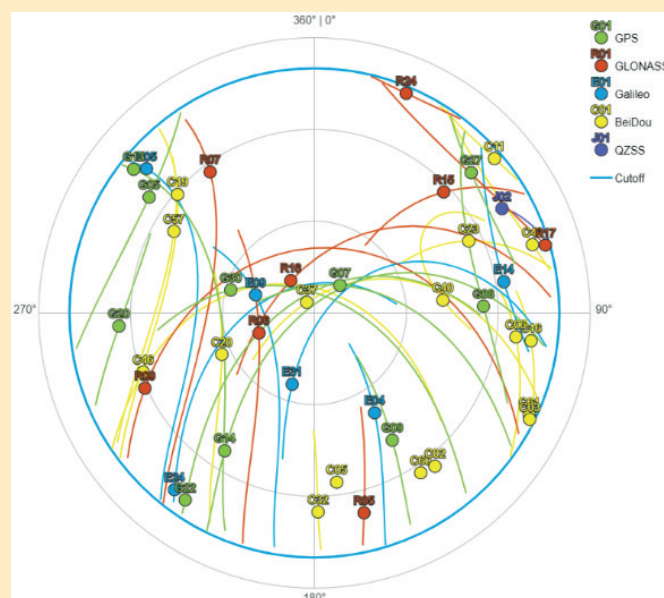
**Figure 1. Illustration of the positioning of navigation satellites relative to the observation point.**

Значение параметра PDOP обычно сильно зависит от количества наблюдаемых спутников и при большом их числе, как правило, PDOP мал и это время оптимально

для проведения ГНСС измерений. На сегодняшний день, PDOP обычно находится в пределах  $1 < PDOP < 3$ , что обуславливается большим количеством спутников. По состоянию на конец июня 2023 года в эксплуатации находилось 46 спутников BeiDou, при этом сеть GPS насчитывала всего 31 аппарат, навигационная система Европы – 25 спутников, а российская ГЛОНАСС – 24. В Японии действует 4 локальных спутника, а в Индии – 6. Соответственно, если приемник может обработать данные вышеназванных созвездий, в среднем, в любое время суток мы можем наблюдать более 20-ти спутников [6].

Обе фазы измерений были проведены в начале июня 2024 года. При первой фазе с помощью онлайн сервиса Trimble GNSS Planning и по метеоисводам было выбрано точное время начала измерений. Поскольку период обращения ГНСС спутников вокруг Земли составляет около 12 часов, то с помощью вышеназванного сервиса был выбран период, при котором максимальное количество спутников были наблюдаемы на протяжении более двух часов (рис. 2).

Здесь также стоит учесть маску возвышения, так как на низких углах качество сигнала спутников деградирует. Соответственно здесь нужно найти баланс между максимально возможным количеством спутников и качеством принимаемого сигнала. В любом случае, при обработке мы можем отсеять некачественные наблюдения [7]. На запланированный период небосвод был как на рис. 2.



**Рис. 2. Небосвод на начало первой сессии наблюдений.**

**Сурет 2. Бірінші бақылау сессиясының басындағы аспан.**

**Figure 2. The sky view at the beginning of the first observation session.**

Первый шестичасовой сеанс статички был проведен в благоприятную солнечную погоду, рядом с наблюдаемыми пунктами не было никаких мешающих наблюдениям предметов, таких как здания и крупная техника, только равнинная местность. Поэтому параметры снижения точности находятся на минимальном уровне (рис. 3).

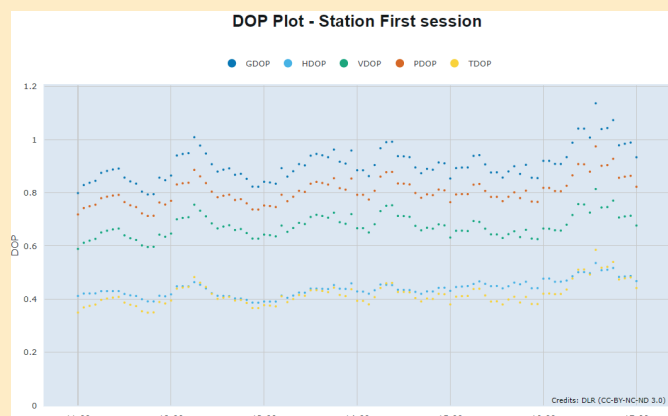


Рис. 3. Значение DOP на весь период первой сессии наблюдений.

Сурет 3. Бірінші бақылау сеансының бүкіл кезеңі үшін DOP мәні.

Figure 3. DOP values during the entire period of the first observation session.

### Результаты

При первичной обработке в ПО Trimble Business Center не обнаружилось никаких ошибок, все полученные значения ошибок в пределах допусков прибора, и эталонное эллипсоидальное расстояние в 10 км между базисными пунктами показало разницу всего в 3 мм (таблица 1).

Таблица 1

Результаты обработки базовой линии первой сессии наблюдений

Кесте 1

Бірінші бақылау сессиясының базалық көрсеткіштерін оңдеу нәтижелері

Table 1

Results of processing the baselines of the first observation session

Заклучение по обработке

| Измерение     | От  | До    | Тип решения  | П. Точн. | В. Точн. | Геоид. аз. | Элл.      | ΔВысота |
|---------------|-----|-------|--------------|----------|----------|------------|-----------|---------|
| 220 --- 126.3 | 220 | 126.3 | Фиксированно | 0.005    | 0.014    | 128°00'56" | 10652.982 | -93.964 |

Референсное значение 10652.979

Во втором сеансе измерений, проведенном на следующий день в ранние утренние часы, отсутствовала предварительная подготовка. Погодные условия были неблагоприятными, с облачной погодой и легкими осадками. Рядом с точкой 126.3 на расстоянии шестнадцати метров проводились буровые работы, что тоже могло сказаться на качестве наблюдений. Длительность сессии составила шесть часов, в течение которых были проведены наблюдения на еще двух новых пунктах [8].

Если судить по состоянию и количеству спутников на начало наблюдений, то становится понятным то, зачем нужно заранее планировать наблюдения. Как видно из рис. 4, количество и плотность спутников меньше, геометрия также неравномерна.

Значения параметров снижения точности тоже показывают относительно высокие показатели сравнительно с первой сессией. В первом случае, PDOP в течение всего сеанса не поднимался выше значения 1, а во втором случае

PDOP находится между  $1 < PDOP < 1.2$  (рис. 5).

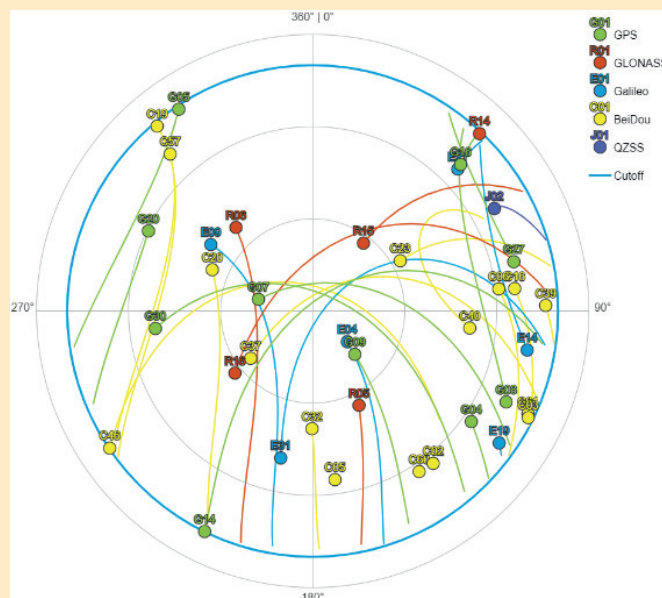


Рис. 4. Небосвод на начало второй сессии наблюдений.

Сурет 4. Екінші бақылау сессиясының басындағы аспан.

Figure 4. The sky view at the beginning of the second observation session.

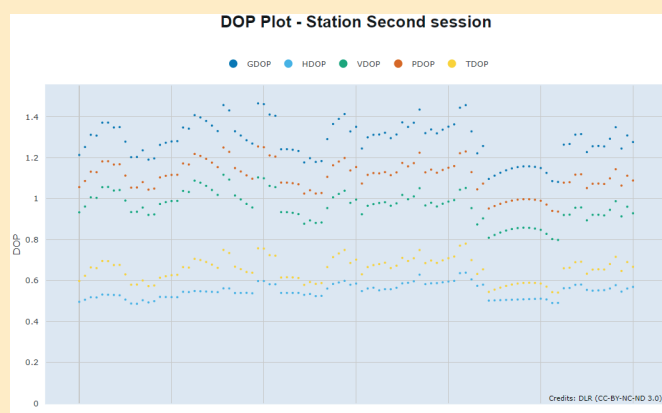


Рис. 5. Значение DOP на весь период второй сессии наблюдений.

Сурет 5. Екінші бақылау сеансының бүкіл кезеңі үшін DOP мәні.

Figure 5. DOP values during the entire period of the second observation session.

После обработки результатов наблюдений получаем данные (таблица 2).

Результаты обработки базовой линии между пунктами сходятся с результатами первой сессии, разница в расстоянии составляет всего 1 мм с исходными данными 4 мм.

### Обсуждение результатов

Таким образом, на этих наблюдениях установлено, что планирование измерений и геометрия расположения спутников не играет основную роль в получении точных результатов. Это, возможно, связано с увеличением количе-



Таблица 2

**Результаты обработки базовой линий второй сессии наблюдений**

Кесте 2

**Екінші бақылау сессиясының базалық көрсеткіштерін өңдеу нәтижелері**

Table 2

**Results of processing the baselines of the second observation session**

Заключение по обработке

| Измерение     | От  | До    | Тип решения  | П. Точн. | В. Точн. | Геоц. аз.  | Элл.      | ΔВысота |
|---------------|-----|-------|--------------|----------|----------|------------|-----------|---------|
| 220 --- 126.3 | 220 | 126.3 | Фиксированно | 0.007    | 0.017    | 128°00'56" | 10652.983 | -93.943 |

Референцное значение 10652.979

ства спутников и улучшением характеристик самих GNSS приемников. Ведь за последнее десятилетие, с введением в эксплуатацию четырех новых систем Galileo и BeiDou, также QZSS и IRNSS, количество спутников увеличилось больше чем в два раза. Если принимать в расчет, что для точной навигации нам требуется минимум 4 спутника, то сейчас при GNSS наблюдениях продолжительностью от четырех часов, GNSS приемник обрабатывает больше 30 спутников, что положительным образом сказывается на точности получаемых данных.

Кроме того, значительное улучшение точности наблюдений связано с развитием многоканальных и мультисканальных GNSS приемников, которые могут обрабатывать данные с нескольких частот и от различных спутниковых систем одновременно. Это уменьшает влияние атмосферных и ионосферных искажений, а также повышает устойчивость к помехам [9].

Развитие таких технологий также позволяет эффективно решать проблемы многослучевости, которая возникает из-за отражений сигналов от различных объектов на поверхности Земли, таких как здания или природные преграды. Мультисканальные приемники способны отслеживать сигналы с различных частотных диапазонов, что улучшает качество измерений, так как различные частоты по-разному взаимодействуют с атмосферными слоями. Это повышает точность измерений в сложных условиях, таких как городской каньон или местности с плохими условиями видимости спутников. Важно, что мультисканальные си-

стемы, такие как L1/L2/GPS, L1/L2/GLONASS и новые частотные диапазоны Galileo и BeiDou, значительно расширяют возможности для получения более стабильных и надежных навигационных данных.

Кроме того, с учетом постоянного расширения спутниковых систем, таких как GPS, GLONASS, Galileo и BeiDou, а также с внедрением новых инновационных технологий, точность наблюдений с каждым годом только улучшается. Современные многоканальные приемники могут работать с несколькими спутниковыми системами одновременно, что позволяет значительно увеличить количество доступных спутников и улучшить геометрическое распределение. Это снижает вероятность ошибок в позиционировании, увеличивает устойчивость к помехам и повышает общую надежность системы, что крайне важно для приложений, где требуется высокая точность, таких как автономные транспортные средства, геодезические исследования или системы мониторинга окружающей среды [10].

### Выводы

В результате, использование таких технологий позволяет повысить надежность и точность измерений, даже если условия для наблюдений не идеальны. Также новые методы обработки данных, такие как использование коррекционных сигналов и дифференциальных систем, способствуют улучшению конечных результатов, позволяя существенно снижать погрешности. Конечно, не стоит исключать такие важные аспекты как маска возвышения, определение фазового центра приемника, учет атмосферных явлений, которые при высокоточных измерениях играют большую роль, но в прикладных задачах гораздо более важным условием все же является доступность и простота процедуры выполнения измерений и обработки данных.

### Благодарность

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP23489269 «Гео-техническое мониторингирование геодинамического состояния геолого-структурной среды массива горных пород при освоении недр для обеспечения промышленной надежности»).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нурпеисова М. Влияние метеорологических факторов на точность результатов мониторинга. / М. Нурпеисова, Б. Минджасаров, Б. Бурканов, Д. Киргизбаева. // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия Геология и технические науки. 2023. № 5. С. 102–108 (на английском языке).
2. Adrian Nowak. Оптимизация стратегий предсказания орбит для спутников GNSS. / Adrian Nowak, Radosław Zajdel, Krzysztof Sośnica. // Acta Astronautica. 2023. № 209 (7). С. 134–138 (на английском языке).
3. Baire Q., Aerts W., Bruyninx C., Pottiaux E., Legrand J. Различия между моделями калибровки антенн GPS-приемников и влияние на геодезическое позиционирование. // AGU Fall Meeting. – Сан-Франциско: 2012. – С. 7–11 (на английском языке).
4. M. Meurer. Первый сигнал GPS L5: предварительный анализ демонстрационного сигнала SVN49. / M. Meurer, S. Erker, S. Thehlert, O. Montenbruck, A. Hauschild, R.B. Langley. // GPS World. 2009. Т. 20. № 6. С. 49–58 (на английском языке).

5. Schmid R. Абсолютные коррекции фазовых центров антенн спутников и приемников. Влияние на решения GPS и оценка азимутальных вариаций фазового центра антенны спутника. / R. Schmid, M. Rothacher, D. Thaller, P. Steigenberger. // *GPS Solutions*. 2005. Т. 9 (4). С. 283–293 (на английском языке).
6. Leick A. GPS-спутниковая съемка (4-е изд.), 2015, С. 245–254 (на английском языке)
7. Свидетельство автора Республики Казахстан № 39036 от 14.10.2025 за научную работу. Влияние метеорологических факторов на точность. / М. Нурпеисова, Б. Минджасаров, Д. Киргизбаева (на русском языке).
8. Hussain A. Сложности и ограничения приема сигнала GNSS в сильно загроможденных условиях. / Hussain A., Akhtar F., Khand Z.H., Rajput A., Shaukat, Z. // *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2021. № 11 (2). С. 6864–6868 (на английском языке)
9. Jin S. Обзор применения Multi-GNSS для наблюдений за Землей и новых приложений. / Jin S., Wang Q., Dardanelli G. // *Remote Sens*. 2022. № 14. С. 3930 (на английском языке).
10. Stefan Söderholm. Программно-определяемый приемник для работы с несколькими системами GNSS: проектирование, реализация и преимущества производительности. / Stefan Söderholm, Mohammad Zahidul H. Bhuiyan, Sarang Thombre, Laura Ruotsalainen, Heidi Kuusniemi. // *Annals of Telecommunications* Т. 71 (7–8). С. 399–410 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Нұрпейісова М. Бақылау нәтижелерінің дұрыстығына метеорологиялық факторлардың әсері. / М. Нұрпейісова, В. Мыңжасаров, В. Бұрханов, Д. Қырғызбаева. // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының жаңалықтары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2023. № 5. Б. 102–108 (ағылшын тілінде)
2. Adrian Nowak. GNSS спутниктерінің орбиталарын болжау стратегияларын оңтайландыру. / Adrian Nowak, Radosław Zajdel, Krzysztof Sośnica. // *Acta Astronautica*. 2023. № 209 (7). Б. 134–138 (ағылшын тілінде)
3. Baire Q., Aerts W., Bruyninx C., Pottiaux E., Legrand J. GPS қабылдағыш антенналарын калибрлеу модельдері арасындағы айырмашылықтар және оның геодезиялық позициялауға әсері. // *AGU Fall Meeting*. – Сан-Франциско: 2012. – Б. 7–11 (ағылшын тілінде)
4. M. Meurer. GPS L5 алғашқы сигналы: SVN49 демонстрациялық сигналының алдын ала талдауы. / M. Meurer, S. Erker, S. Thehlert, O. Montenbruck, A. Hauschild, R.B. Langley. // *GPS World*. 2009. Т. 20. № 6. Б. 49–58 (ағылшын тілінде)
5. Schmid R. Спутник және қабылдағыш антенналардың абсолютті фазалық орталықтарын түзету. GPS шешімдеріне әсері және спутник антеннасының азимутальды фазалық орталық өзгерістерін бағалау. / R. Schmid, M. Rothacher, D. Thaller, P. Steigenberger. // *GPS Solutions*. 2005. Т. 9 (4). Б. 283–293 (ағылшын тілінде)
6. Leick A. GPS спутниктерін зерттеу (4-ші басылым), 2015, Б. 245–254 (ағылшын тілінде)
7. Қазақстан Республикасы авторлық куәлігі № 39036, 14.10.2025, ғылыми жұмыс үшін. Метеорологиялық факторлардың дәлдікке әсері. / М. Нурпеисова, Б. Минджасаров, Д. Киргизбаева (орыс тілінде)
8. Hussain A. GNSS сигналын қабылдаудың күрделілігі мен шектеулері жоғары бөгде ортада. *Engineering*. / Hussain A., Akhtar F., Khand Z.H., Rajput A., Shaukat Z. // *Technology & Applied Science Research*. 2021. № 11 (2). Б. 6864–6868 (ағылшын тілінде)
9. Jin S. Multi-GNSS-тің Жерді бақылаудағы және жаңа қосымшалардағы рөлі туралы шолу. / Jin S., Wang Q., Dardanelli G. // *Remote Sens*. 2022. № 14. Б. 3930 (ағылшын тілінде)
10. Stefan Söderholm. GNSS жүйесіне арналған бағдарламалық анықтамалық қабылдағыш: жобалау, іске асыру және өнімділік артықшылықтары. / Stefan Söderholm, Mohammad Zahidul H. Bhuiyan, Sarang Thombre, Laura Ruotsalainen, Heidi Kuusniemi. // *Annals of Telecommunications*. 2016. Т. 71 (7–8). Б. 399–410 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Nurpeissova M. Influence of meteorological factors on the accuracy of monitoring results. / Nurpeissova M., Mingzhasarov B., Burkhanov B., Kyrgyzbaeva D. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2023. № 5. P. 102–108 (in English)
2. Adrian Nowak, Radosław Zajdel, Krzysztof Sośnica. Optimization of orbit prediction strategies for GNSS satellites. / Adrian Nowak, Radosław Zajdel, Krzysztof Sośnica. // *Acta Astronautica*. 2023. № 209 (7). P. 134–138 (in English)



3. Baire Q., Aerts W., Bruyninx C., Pottiaux E., Legrand J. Differences between GPS receiver antenna calibration models and influence on geodetic positioning. // AGU Fall Meeting. – San Francisco: 2012. – P. 7–11 (in English)
4. M. Meurer. The First GPS L5 Signal: A Preliminary Analysis of the SVN49 Demonstration Signal. / M. Meurer, S. Erker, S. Thehlert, O. Montenbruck, A. Hauschild, R.B. Langley. // GPS World. 2009. V. 20. № 6. P. 49–58 (in English)
5. Schmid R. Absolute phase center corrections of satellite and receiver antennas. Impact on GPS solutions and estimation of azimuthal phase center variations of the satellite antenna. / R. Schmid, M. Rothacher, D. Thaller, P. Steigenberger. // GPS Solutions. 2005. V. 9 (4). P. 283–293 (in English)
6. Leick A. GPS Satellite Surveying (4th ed.), 2015, P. 245–254 (in English)
7. Svidetel'stvo avtora Respubliki Kazakhstan № 39036 ot 14.10.2025 za nauchnuyu rabotu. Vliyanie meteorologicheskikh faktorov na tochnost'. / M. Nurpeisova, B. Mindzhasarov, D. Kirgizbaeva [Author's certificate of the Republic of Kazakhstan. № 39036 dated 14.10, 2025 for a work of science. Influence of meteorological factors on the accuracy of. / M. Nurpeisova, B. Mingzhasarov, D. Kyrgyzbaeva] (in Russian)
8. Hussain A. Complexity and Limitations of GNSS Signal Reception in Highly Obstructed Enviroments. / Hussain, A., Akhtar, F., Khand, Z.H., Rajput, A. and Shaukat, Z. // Engineering, Technology & Applied Science Research. 2021. № 11 (2). P. 6864–6868 (in English)
9. Jin S. A Review on Multi-GNSS for Earth Observation and Emerging Applications. / Jin S., Wang Q., Dardanelli G. // Remote Sens. 2022, № 14. P. 3930 (in English)
10. Stefan Söderholm. A multi-GNSS software-defined receiver: design, implementation, and performance benefits. / Stefan Söderholm, Mohammad Zahidul H. Bhuiyan, Sarang Thombre, Laura Ruotsalainen, Heidi Kuusniemi. // Annals of Telecommunications. 2016. V. 71 (7–8). P. 399–410 (in English)

#### Сведения об авторах:

**Нурпеисова М.Б.**, д.т.н., профессор Казахского Национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [marzhan-nurpeisova@rambler.ru](mailto:marzhan-nurpeisova@rambler.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

**Мынжасаров Б.**, Ph.D докторант Казахского Национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [bakha1000@gmail.com](mailto:bakha1000@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-6912-2303>

**Киргизбаева Д.М.**, доктор Ph.D, ассоц. профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [d.kirgizbaeva@satbayev.university](mailto:d.kirgizbaeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-8869-5497>

**Нурпеисова Т.Б.**, к.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [t.nurpeisova@satbayev.university](mailto:t.nurpeisova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Нұрпейісова М.Б.**, т.ғ.д., К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Мынжасаров Б.**, К.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

**Қырғызбаева Д.М.**, Ph.D докторы, қауым. профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Нұрпейісова Т.Б.**, т.ғ.к., Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Nurpeisova M.B.**, Doctor of technical sciences, Professor of Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

**Myngzhassarov B.**, Ph.D student, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

**Kirgizbaeva D.M.**, Ph.D, Associate Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Nurpeisova T.B.**, Candidate of technical sciences, Professor of Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)



2025

2-4 апреля  
Казахстан, Атырау



**ATYRAU**  
OIL & GAS KAZAKHSTAN

22-я Северо-Каспийская  
региональная выставка

«Атырау Нефть и Газ»



Подробная информация:  
[www.oil-gas.kz](http://www.oil-gas.kz)





Код МРНТИ 52.13.15

Э.Р. Халикова<sup>1</sup>, \*А.Е. Жумабекова<sup>1</sup>, Д.С. Сыздықбаева<sup>1</sup>, М.Г. Мустафин<sup>2</sup><sup>1</sup> Коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан),<sup>2</sup> Санкт-Петербург тау-кен университеті (Санкт-Петербург қ., Ресей)

## ТАУ ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ӘЛСІРЕГЕН АЙМАҒЫН НЫҒАЙТУ ЖӨНІНДЕГІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СХЕМАЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУ

**Аннотация.** Мақалада дайындық өндірісінің геологиялық бұзылуынан өту кезінде тау жыныстарының әлсіреген аймағын нығайтудың технологиялық схемасы қарастырылған. Мұндай схемаларға қажеттілік тау-кен қазбалары жүргізілетін күрделі тау-кен-геологиялық жағдайларға байланысты үнемі туындайды, онда үстіңгі қазба аймақтары, тірек (тазалау жұмыстары фронтының алдында) және жоғары тау-кен қысымдары (жоғарыда тұрған бұрын істен шыққан қаттарда қалған кентіректерден) болған кезде, жанасқан қазбалардың әсері, тазарту кенжарлы желісімен қайта пайдалану үшін сақталуы қажет. Сандық есептеулердің көмегімен әртүрлі жағдайларда анкерлік бекітпенің көлбеу бұрышын анықтау бойынша геомеханикалық зерттеулер жүргізілді.

**Түйінді сөздер:** жерасты тау-кен жұмыстары, дайындық кенжары, тау жыныстарының массиві, сандық модельдеу, кернеулі-деформацияланған күй, тау-кен қазбаларын бекіту.

### Development of technological schemes for strengthening the weakened zone of rocks

**Abstract.** In this article, a technological scheme for strengthening a weakened zone of rocks at the intersection of a geological disturbance by preparatory mining is considered. The need for such schemes constantly arises due to the difficult mining and geological conditions in which mining operations are carried out in the presence of over- and under-working zones, support (ahead of the front of cleaning operations) and increased mining (from the pillars left on the overlying previously spent formations) pressures, the influence of converging workings, preservation for reuse for the cleaning face line. With the help of numerical calculations, the parameters of the advanced fastening were determined, geomechanical studies were carried out to determine the angle of inclination of the anchor support under various conditions.

**Key words:** underground mining, preparatory face, rock mass, numerical modeling, stress-strain state, fastening of mine workings.

### Разработка технологических схем по упрочнению ослабленной зоны горных пород

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена технологическая схема по упрочнению ослабленной зоны горных пород при пересечении геологического нарушения подготовительной выработкой. Необходимость в таких схемах постоянно возникает из-за сложных горно-геологических условий, в которых проводятся горные выработки при наличии зон над- и подработки, опорного (впереди фронта очистных работ) и повышенного горного (от целиков, оставленных на вышележащих ранее отработанных пластах) давлений, влияние сближенных выработок, сохранение для повторного использования за линией очистного забоя. С помощью численных расчетов определены параметры заложения опережающего крепления, проведены геомеханические исследования по определению угла наклона анкерной крепи при различных условиях.

**Ключевые слова:** подземные горные работы, подготовительный забой, массив горных пород, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние, крепление горных выработок.

### Кіріспе

Тау-кен кәсіпорнының негізгі функцияларының бірі-пайдалану мерзімі ішінде оның қуатын мезгілімен көбейту қажеттілігі, және мұндай жаңарту қымбатқа түседі, өйткені ол терендіктің артуына және игерудің басқа жағдайларына байланысты тау-кен геологиялық және тау-кен техникалық факторларының үздіксіз нашарлауында жүзеге асырылады. Мониторинг жаңа тау-кен кәсіпорындарын салу және жұмыс істеп тұрғандарын қайта жаңарту көптеген жағдайларда күрделі тау-кен-геологиялық игеру жағдайларында жүргізілетінін көрсетеді [1].

Тау-кен геологиялық жағдайлары пайдалы қазбалар кен орындарын игеру терендігінің өсуіне байланысты үнемі нашарлап келеді.

Пайдалы қазбалардың кен орындарын жерасты игеру кезіндегі тау-кен қазбаларының орнықтылығын арттыру маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Жер қойнауын кешенді игеру проблемасы тұрғысынан күрделі тау-кен қазбаларын игерудің техногендік жаңғыртылатын георесурсы деп есептеу керек. Бұл жағдайда, әсіресе, тау-кен қазбаларын жаңа функционалдық сапада одан әрі пайдалану кезінде олардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету рөлі артады. Тау-кен қазбасын салу кезеңінде бекітпенің қуатты төзімді конструкцияларын тұрғызу көп жылдардан кейін өзін ақтай бастайтын елеулі күрделі шығындарды тартуды талап етеді. Көптеген жағдайларда мұндай шешім экономикалық тұрғыдан орынсыз болып табылады [2].

### Зерттеу әдістері

Геомеханикалық процестерді талдау үшін ANSYS бағдарламалық кешенін қолдана отырып математикалық модельдеу қолданылады.

Әлсіреген немесе бұзылған тау-кен алқабында оны жүргізу кезінде тау-кен қазбасының кернеулі-деформацияланған жай-күйін (ҚҚС) айқындау міндетін шешу кернеулерді (қалыпты, бойлық және жанама) айқындауды және ішкі күштерді айқындауды және орнын ауыстыруды және деформацияларды қамтиды [3].

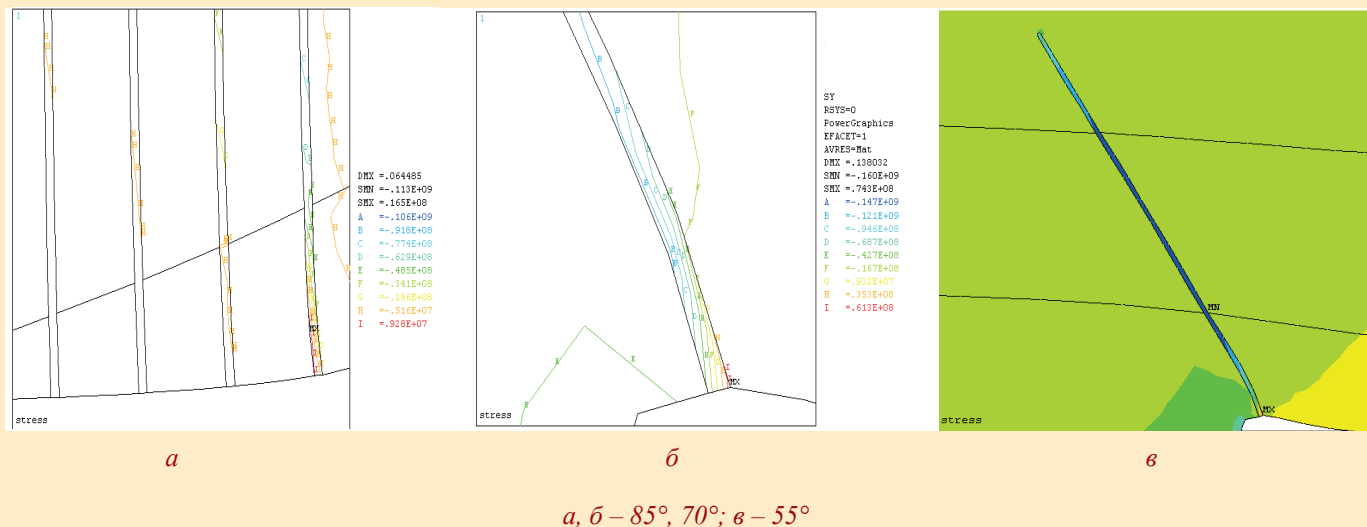
Бастапқы деректер қиылысатын жыныстардың физика-механикалық қасиеттері және жүргізілетін қазбалардың технологиялық параметрлері болып табылады:

- ұңғылау, күзету және ұстау шарттары;
- қазбалардың және ұңғымадағы түйісулердің есептік ені ( $B, m$ ), биіктігі ( $h, m$ );
- жер бетінен орналасудың есептік тереңдігі ( $H, m$ );
- төбе жыныстарының құрылыс түрі;
- тікелей төбе жыныстарының орнықтылық класы;
- төбе жыныстарының қысуға төзімділігі ( $R_c, MPa$ );
- анкердің есептік (нақты) жүк көтергіштігі.

1-суретте төбеде орналасқан анкердегі  $\sigma_r$  тік кернеулердің таралуы көрсетілген.

Озық бекітпені салу параметрлерін анықтау үшін әртүрлі жағдайларда анкерлік бекітпенің көлбеу бұрышын анықтау бойынша геомеханикалық зерттеулер жүргізілді.

Еңіс бұрышын, анкерлік бекітпені орнату қадамын және төбе жыныстарының беріктігі бойынша әлсіреген (геологиялық бұзылуда) жағдайларды ауытқу кезінде төбе жы-



Сурет 1. Орналасу бұрыштарындағы анкер ұзындығы бойынша қалыпты кернеулердің диаграммасы.

Figure 1. Diagram of normal stresses along the length of anchors at laying angles.

Рис. 1. Эпюра нормальных напряжений по длине анкеров при углах заложения.

ныстарының беріктігінің әртүрлі жағдайлары үшін – орташа беріктігі  $R_c = 25$  (2, 3-суреттер) және  $R_c = 37$  МПа – 4 және 5-суреттер үшін мынадай тәуелділіктер алынған. Озық анкерлердің көлбеу бұрышы  $35$ -тен  $85^\circ$  дейін өзгерді,  $h$  – анкерлерді орнату қадамы (м) [4].

Зәкірлерді тұрақсыз тікелей төбеге орнату қадамы  $0,8$ -ден  $1,2$  м-ге дейін өзгерді.

Бір осьтік қысымға беріктігі  $R_c = 25$  МПа әлсіреген жыныстар үшін тәуелділіктер:

$$\sigma_y(\alpha, h) = k_0(h) \cdot \alpha^3 + k_1(h) \cdot \alpha^2 + k_2(h) \cdot \alpha + k_3(h), \quad (1)$$

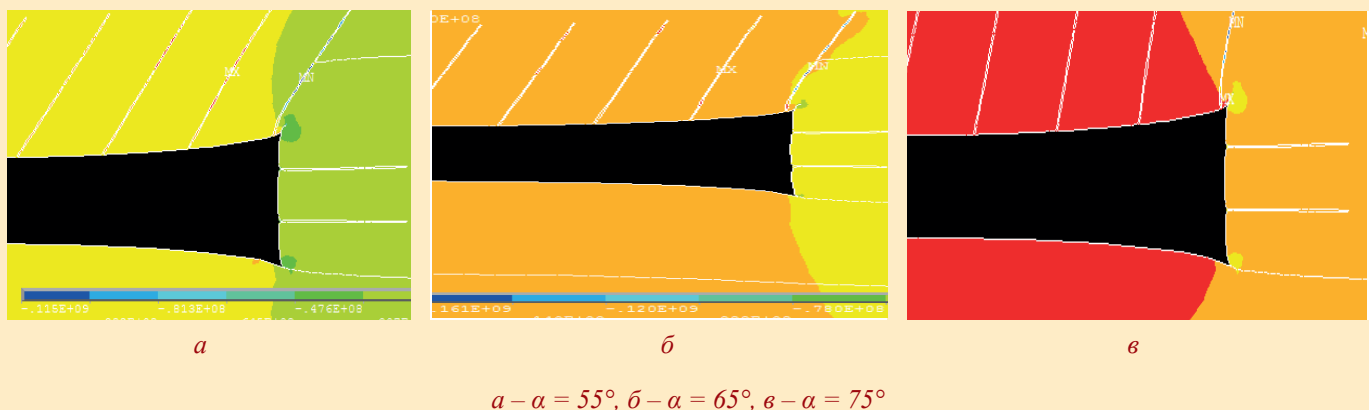
$$k_0(h) = 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot h - 1,72 \cdot 10^{-3},$$

$$\begin{aligned} k_1(h) &= -0,4 \cdot h + 0,16, \\ k_2(h) &= 20,47 \cdot h - 5,69, \\ k_3(h) &= -333,32 \cdot h + 89,94. \end{aligned}$$

Бір осьтік қысымға беріктігі бар төбенің бұзылған жыныстары үшін тәуелділік (МПа) [5]:

$$\sigma_y(\alpha, h) = k_0(h) \cdot \alpha^3 + k_1(h) \cdot \alpha^2 + k_2(h) \cdot \alpha + k_3(h), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} k_0(h) &= 3,86 \cdot 10^{-3} \cdot h - 3,43 \cdot 10^{-3} \\ k_1(h) &= -0,62 \cdot h + 0,51, \\ k_2(h) &= 30,45 \cdot h - 24,82, \\ k_3(h) &= -496,79 \cdot h + 340,25. \end{aligned}$$

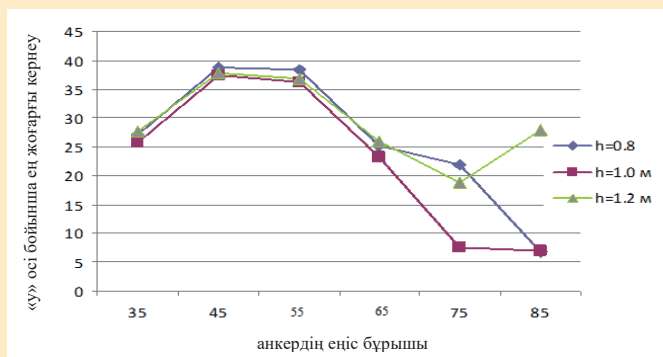


Сурет 2.  $R_c = 25$  МПа қысу беріктігімен төбенің бұзылған жыныстары кезінде қазбаның айналасындағы жыныстардың кернеулі жай-күйінің өзгеруі.

Figure 2. Change in the stressed state of rocks around the excavation with disturbed roof rocks with compressive strength  $R_c = 25$  MPa.

Рис. 2. Изменение напряженного состояния пород вокруг выработки при нарушенных породах кровли с прочностью на сжатие  $R_c = 25$  Мпа.



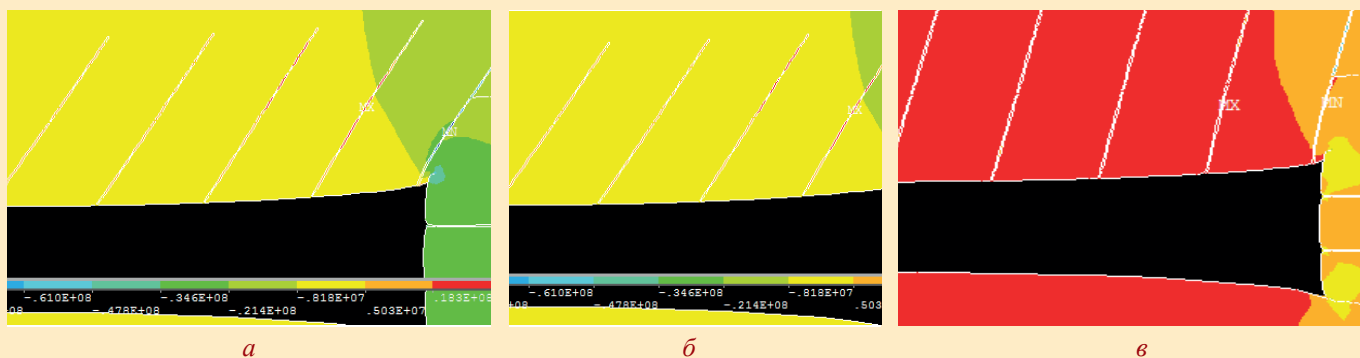


**Сурет 3. Қазба айналасындағы жыныстардың кернеулі жай-күйі**

анкерлерді орнату қадамына байланысты  $R_c = 25$  МПа қысуға беріктігі бар төбенің әлсіз жыныстары кезінде.

Figure 3. Stress state of rocks around the working in case of weak roof rocks with compressive strength  $R_c = 25$  MPa depending on the pitch of anchors installation.

Рис. 3. Напряженное состояние пород вокруг выработки при слабых породах кровли с прочностью на сжатие  $R_c = 25$  МПа в зависимости от шага установки анкеров.



$a - \alpha = 55^\circ, б - \alpha = 65^\circ, в - \alpha = 75^\circ$

**Сурет 4. Қысылуға беріктігі  $R_c = 37$  МПа болатын төбенің әлсіреген жыныстары кезінде қазба айналасындағы жыныстардың кернеулі жай-күйінің өзгеруі.**

Figure 4. Change in the stressed state of rocks around the working with weakened roof rocks with compressive strength  $R_c = 37$  MPa.

Рис. 4. Изменение напряженного состояния пород вокруг выработки при ослабленных породах кровли с прочностью на сжатие  $R_c = 37$  МПа.

Анкер еңісінің бұрышына байланысты «х» осі бойынша ең жоғары тік кернеулердің эмпирикалық тәуелділіктері белгіленген (6-сурет):

$$\sigma_y^{max}(\alpha) = 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^4 - 5,9 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^3 + 0,4 \cdot \alpha^2 - 13 \cdot \alpha + 153. \quad (3)$$

Анкер көлбеу бұрышына байланысты ең жоғары жанама кернеулерге тәуелділік алынды (7-сурет) [6]:

$$\tau_{max}(\alpha) = 9,4 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^2 - 1,6 \cdot \alpha + 94,4. \quad (4)$$

Жүргізілген зерттеулерден белгілі болғандай, бұзылған аймақта әртүрлі жағдайларда жетекші анкер тірегінің ең

қолайлы көлбеу бұрышы жұмыс осінен 60-тан 70°-қа дейін өзгереді.

### Нәтижелер

Тұрақсыз контурлармен жұмыстарды бекітудің технологиялық схемалары қолданылады. Мұндай схемаларға қажеттілік тау-кен жұмыстарының күрделі тау-кен-геологиялық жағдайларға байланысты үнемі туындайды, онда тіреуіш (жұмыс майданының алдында) және тау-кен өндірудің жоғарылауы (төбеде қалдырылған тіректерден) төбе және бұзатын аймақтар бар. бұрын қазылған қабаттар) қысымдар, іргелес жұмыстардың әсері, жұмыс бетінің шегінен тыс қайта пайдалану үшін сақтау. Тұрақсыз жабын жағдайында жетекші көлбеу анкерлер орнатылады (8-сурет) [7].

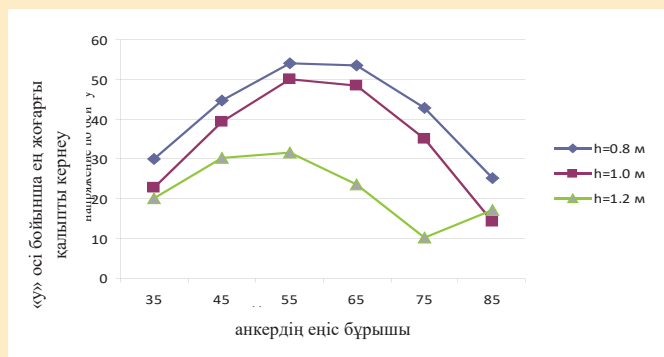
Бір деңгейлі бекітудің ұзындығынан (2,4 м астам) асатын қабатталған жыныстар мен әлсіреген жыныстар күмбезінің айналасында пайда болған кезде арқанды (құрамды) немесе тросты анкерлерден 2-деңгей белгіленеді.

### Нәтижелерді талқылау

Тау-кен қазбаларын бекіту проблемасы көмір өндіру кәсіпорындарын салудың жалпы кешендегі ең маңызды

мәселелерінің бірі болып табылады. Анкерлік иілгіш бекітпе тау-кен геологиялық жағдайлар мен қазбалар қималарының кең ауқымында қолданылады. Анкерлік бекітпелердің жұмыс қабілеттілігі, деформациялық-күштік сипаттамалары және оларды тиімді қолдану саласы көбінесе қабылданған бекіту технологиясына байланысты [8].

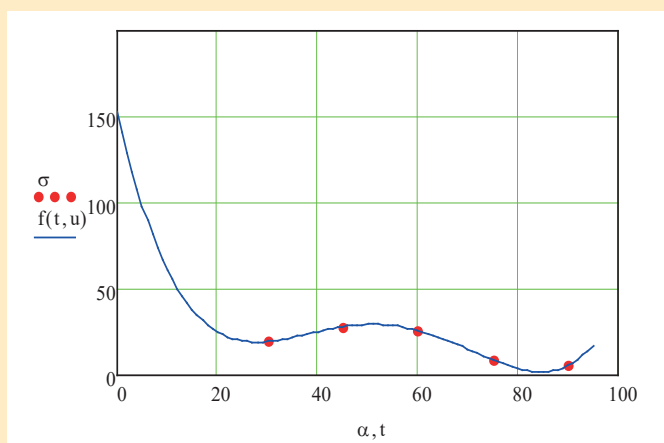
Дайындау қазбасын бекіту тәсілі белгілі, ол қазбаның қимасы бойынша теспелерді бұрғылауды, оларға бойлық металл итергіштердің тесіктері арқылы болат химиялық анкерлерді орнатуды қамтиды, олардың шеттерінде бұрыштық болаттан жасалған бойлық итергіштер дөнекерленген, оларда бұрыш сөресінің ұштарына тартылатын тесіктердің екі жағынан оларды жалғастыратын көлденең жолақтар дөнекерленеді (инновациялық патент № 20334, KZ, МПК:E21D 11/00, 2008, төл. № 11) [9].



**Сурет 5. Анкерлерді орнату қадамына байланысты  $R_c = 37$  МПа қысуға беріктігі бар төбенің әлсіз жыныстары кезінде қазбаның айналасындағы жыныстардың кернеулі жай-күйі.**

**Figure 5. Stressed state of rocks around the working at weak roof rocks with compressive strength  $R_c = 37$  MPa depending on the pitch of anchor bolts installation.**

**Рис. 5. Напряженное состояние пород вокруг выработки при слабых породах кровли с прочностью на сжатие  $R_c = 37$  МПа в зависимости от шага установки анкеров.**

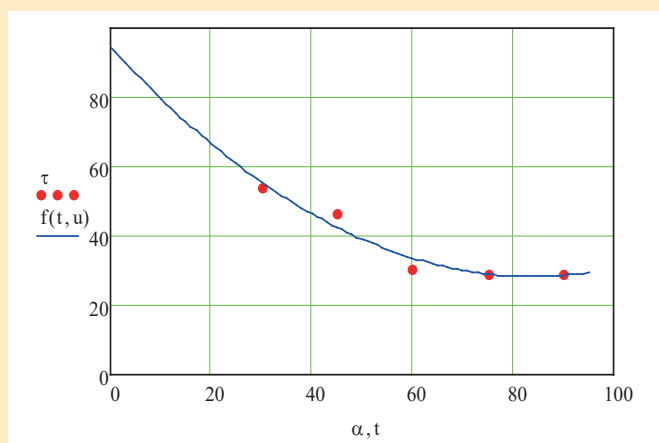


**Сурет 6. Анкердің көлбеу бұрышына байланысты «х» осі бойынша ең жоғары тік кернеулердің тәуелділігі ( $\sigma(\alpha) = f(t, u)$ ).**

**Figure 6. Dependence of maximum vertical stresses along axis «x» depending on anchor inclination angle ( $\sigma(\alpha) = f(t, u)$ ).**

**Рис. 6. Зависимость максимальных вертикальных напряжений по оси «х» в зависимости от угла наклона анкера ( $\sigma(\alpha) = f(t, u)$ ).**

Бұл тәсілдің кемшілігі конструкцияның күрделілігі мен осалдығы, дәнекерленген қосылыстардың көп саны болып табылады, бұл өз кезегінде бекіту құнын арттырады және осы тәсілде қазба төбенің жыныстарын озыңқы бекіту қарастырылмайды. Кемшіліктерге сондай-ақ кенжар алдында анкерлерді тартпай төбенің жарылған жыныстарын бекіту тиімділігінің төмендеуін жатқызуға болады.



**Сурет 7. Анкер көлбеу бұрышына байланысты ең жоғары жанама кернеулердің тәуелділігі ( $\tau(\alpha) = f(t, u)$ ).**

**Figure 7. Dependence of maximum tangential stresses depending on anchor inclination angle ( $\tau(\alpha) = f(t, u)$ ).**

**Рис. 7. Зависимость максимальных касательных напряжений в зависимости от угла наклона анкера ( $\tau(\alpha) = f(t, u)$ ).**

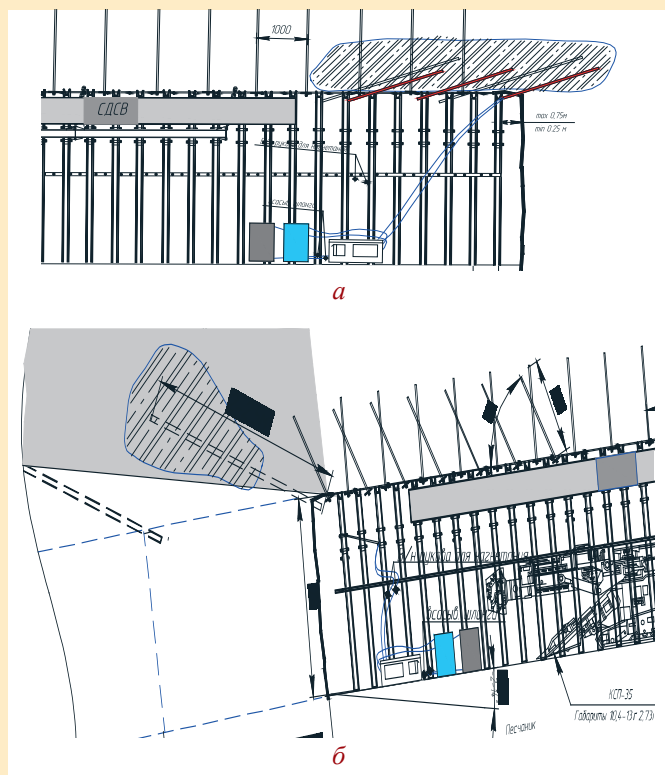
Белгілі тәсілмен жазылған кемшіліктер тау-кен қазбаларын бекіту тиімділігінің төмендігіне себепші болады.

Техникалық мәні және қол жеткізілетін нәтижесі бойынша технологиялық шешімге неғұрлым жақын тау-кен қазбасына жақын жанасатын жыныстарды анкерлік бекіту тәсілі болып табылады, ол теспелерді төбеге жанасатын жыныстардың қабаттану жазықтықтарына перпендикуляр бұрғылауды және қазбаның бүйірін, оларға анкерлік өзектерді, тірек элементтерін және тартпаларды орнатуды қамтиды (инновациялық патент № 29039, KZ, МПК: E21D 11/00, 2014, төл. № 10) [10].

Белгілі тәсілдің кемшілігі теспелерді бұрғылаудың жоғары дәлдігі қабаттасатын жыныстардың қабаттасу жазықтықтарына перпендикуляр болуы қажет. Сондай-ақ белгілі тәсілдерде кенжар бөлігіндегі кернеу импульсінің дамуына (таралуына) кедергі жасайтын кенжардың жылжу бағыты бойынша бұрышта орналасқан қазба төбесіндегі озыңқы анкерлік бекітпе және қазба төбесінің тау жыныстарының контур жанындағы массивінің бұзылуы салдарынан мүлдем қарастырылмайды. Тәсіл тау-кен қазбаларын бекіту кезінде жеткілікті түрде тиімді емес, өйткені төбе жыныстарын тік бұрышты нысандағы көлденең қимадағы қазбаларға арналған анкерлермен тау-кен жыныстарын алдын ала бекіту мәселесін шешпейді.

Шешілетін міндет тау-кен қазбаларын бекіту тиімділігін арттыру болып табылады, бұл қазбаның контуры бойынша да, жыныстардың құлауы мүмкін аймақтың шекарасы шегінде де нығайтылған тау жыныстары аймағының қалыптасуына байланысты қазбаларды сенімді және сапалы бекіту мүмкіндігін қамтамасыз ету арқылы жүзеге асырылады және жер асты тау-кен қазбаларының, негізінен көлденең қиманың тікбұрышты пішінді қазбаларының төбе жыныстарын алдын ала бекіту тәсілінде, қазбаны жүргізу процесінде оны төбеге бұрғылауды және оларға анкерлерді, сондай-ақ қазбаның бүйірлеріне анкерлерді орнатуды қамтиды.





*а – жоспар; б – профиль*

**Сурет 8. Тұрақсыз төбе кезінде бекіту технологиясы озыңқы көлбеу анкерлер орнатылады.**

**Figure 8. Fastening technology in case of unstable roof, leading inclined anchors are installed.**

**Рис. 8. Технология крепления при неустойчивой кровле – устанавливаются опережающие наклонные анкера.**

Кенжарды контурға бұрышпен жылжыту бағыты бойынша қазбаның төбесіне жүргізілетін кенжар маңындағы кеңістікте контурлық озыңқы бекіту рөлін орындайтын, массив жыныстарының қирауының дамуына кедергі жасайтын көлбеу анкерлер орнатылады, олар тау жыныстарында күмбез түзілуінің болжамды таралу тереңдігін ескере отырып, формула бойынша анықталады [11]:

$$C = \left( \frac{K_{сж} \gamma_{НВ}}{100 \sigma_n} \cos \frac{\alpha}{2} - 1 \right) h t g \frac{90^\circ - \varphi}{2}, \quad (5)$$

мұндағы  $C$  – қабат немесе жыныс қазбаларында көмір немесе жыныс құрау тереңдігі, м;

$K_{сж}$  – қазбаны жүргізуге байланысты табиғи тепе-теңдік жиынтығының табандарындағы қысылатын кернеулердің шоғырлану коэффициенті 1,2 (жеке қазбалар) – 1,4 (түйісулер) қабылданады;

$\gamma$  – жер бетіне дейін қазба үстінде жатқан тау жыныстарының орташа тығыздығы, 2,7 т/м<sup>3</sup>;

$H$  – жер бетінен қазбаның орналасу тереңдігі, м;

$B$  – тазалау жұмыстарының әсер ету аймағынан тыс салынатын қабат және жыныс қазбалары үшін тазалау

жұмыстарының әсер ету коэффициенті 1,5 (жеңіл басқарылатын төбе жыныстары) – 1,7 (қиын басқарылатын төбе жыныстары);

$\varphi$  – тау жыныстарының құлау бұрышы, град;

$\sigma_n$  – қазбамен кесілген  $h$  қуатындағы жыныстардың қысылатын қалыңдығының орташа беріктігі, МПа;

$h$  – қазбамен кесілген жыныстар қабаттарының қысылатын қалыңдығының, м.

Тау-кен қазбасының орнықтылығы бұзылған күмбез түзілу ұзындығы орнықсыз жыныстар аймағының ұзындығы бойынша анықталады [11]:

$$LH = 25,8e - 0,035a, \quad (6)$$

мұндағы  $a$  – қазбаның бұзылу жазықтығымен қиылысу бұрышы, градус.

Қазбаның төбесіне жүргізілетін кенжар маңындағы кеңістікте кенжарды контурға бұрышпен жылжыту бағыты бойынша контурлық озыңқы бекіту рөлін орындайтын, массив жыныстарының бұзылуын дамытуға кедергі жасайтын, төбе мен бүйірдегі контурлық анкерлердің есептік ұзындығы бар көлбеу анкерлер орнатылады. Бұрғылау кенжарлық бекітпесінің аралас партияларын 0,3  $L_{ак}$  тығыздағышы бар лак өндіру (қажет болған жағдайда) (БҚҚ) арнайы пішіндерді (СВП) бір ұшы БҚҚ ыдысына орнатумен, ал екіншісі қазбаның негізгі бекітпесіне сүйеніп және қазбаны жүргізу жазықтығының осінен төбе жыныстары құлаған жағдайда олардың көлбеу бұрышы 10–15° болып табылады [10].

$$L_{ак} = L_y + L_y / f \cdot \cos \varphi, \quad (7)$$

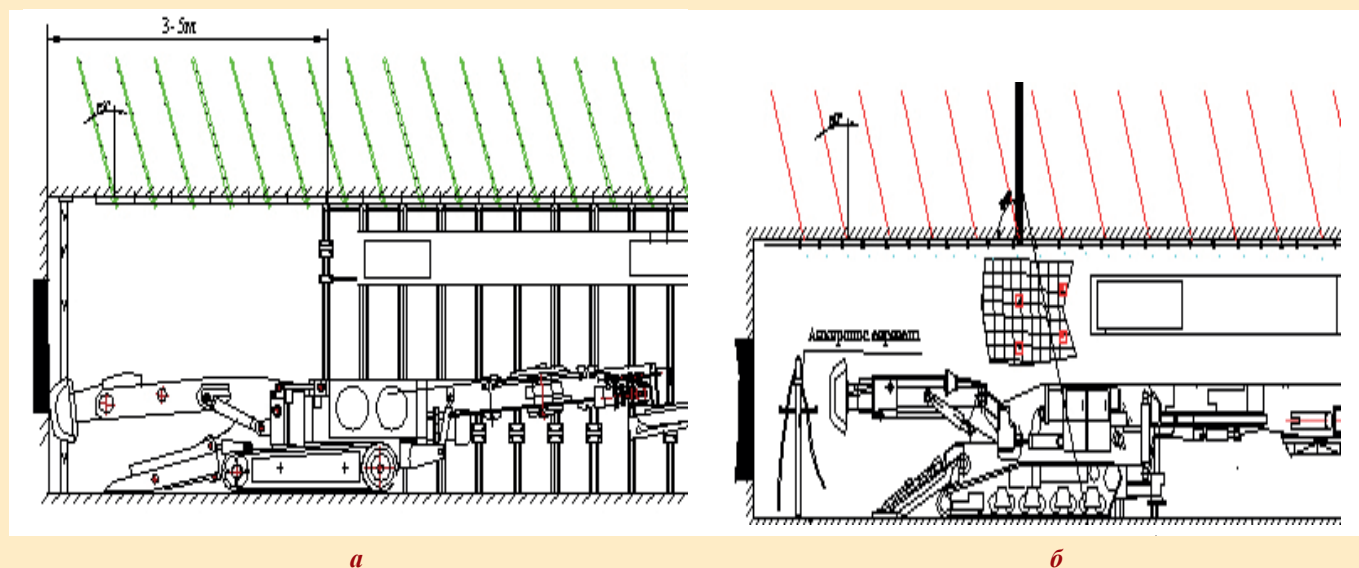
мұндағы  $L_y$  – кенжардың кеудесінің төбеден кетуі мүмкін тереңдігі (оны бекітпей), м;

$f$  – кәсіптік шкала бойынша беріктік коэффициенті Протодьяконов;

$\varphi$  – тау жыныстарының ішкі үйкеліс бұрышы.

Мәлімделген техникалық нәтижемен қойылған міндетке қол жеткізу үшін: кенжарды жылжыту бағыты бойынша бұрышпен көлбеу теспелерді қазбаның төбесіне бұрғылау және оны жүргізу процесінде кернеу импульсінің дамуын және үйінділердің пайда болуын болдырмау үшін оларға 1 анкерлерді орнату қажет. Ұңғылау жұмыстарын жүргізгеннен кейін шпурлар бұрғыланады және оларда 2-ші төбеге перпендикуляр анкерлер орнатылады және бір мезгілде 3-ші қазбаның төбесіне көлбеу шпурлар, сондай-ақ 4-ші қазбаның бүйіріне анкерлер бұрғыланады. Қазба төбесінің көлбеу анкерлерін геологиялық бұзылулар аймақтарында кіретін жыныстары опырылуға бейім тұрақсыз жыныстардан құралған озыңқы бекітпе ретінде қолдану керек.

Күмбез түзу бойынша алынған деректер негізінде тау қысымы көріністерінің сипатын, анкерлік бекітпенің есептік схемасын және жыныстардың құлауы мүмкін аймақтың тереңдігін, төбеде анкерлерді орнату тығыздығын, анкерлерді орнату арақашықтығы мен қадамын ескере отырып, озыңқы және төбедегі анкерлердің ұзындығы анықталады. Сондай-ақ бүйірлік анкерлерді орнату параметрлері анықталады.



а – уақытша бекітпе; б – тұрақты бекітпе

Сурет 9. Озық (жетілдірілген) анкерлік бекітуді қолдану технологиясы.

Figure 9. Advanced anchorage technology.

Рис. 9. Технология применения опережающего (передового) анкерного крепления.

Қол жеткізілуі қойылған міндеттерді шешуді қамтамасыз ететін техникалық нәтиже қазбаның төбесін бекіту технологиясымен, төбе жыныстары бар қазбаның кенжар бөлігіндегі қалдық түзілуге бейім кернеуді төмендетумен көрінеді.

Технологиялық шешімнің міндеті тау-кен қазбаларының тұрақсыз учаскелерінде тікелей төбенің орнықтылығын арттыру, тікелей төбенің тұрақсыз жыныстарын тігу және кейіннен жасалған жасанды контурды бекіту арқылы терең көкжиектерде жұмыс жүргізу қауіпсіздігін арттыру болып табылады [11].

Бүйірлері мен төбелерінде химиялық нығайту үшін диаметрі 42 мм көлбеу шпурлар бұрғыланады, оларға 100–150 бар қысым өсуіне дейін шайыр беретін бекіту арматурасының араластырғышы қосылған перфорирленген түтік енгізіледі.

Бұл ретте уақытша және тұрақты бекітпе ретінде озыңқы (алдыңғы) анкерлік бекітпені қолдану технологиясы болуы мүмкін (9-сурет) [11].

Дұрыс негізделген және таңдалған анкерлеу параметрлері кезінде пайда болатын жыныс-анкер конструкциясы қоршаған массивке қарағанда мейлінше жоғары беріктік сипаттамаларына ие, бұл оның тұтастығын сақтауды қамтамасыз етеді.

Жыныс-анкерлік құрылымды қазба маңында қалыптастырғаннан кейін жыныстардың оның шегінен тыс жіктелуі басталады. Жыныс-анкерлік бекітпе қирау аймағындағы жыныстардың қопсытылуынан түсетін жүктемені қабылдап қана қоймай, қирау шебінің қазба жағына қарай дамуын тежейді, сондай-ақ серпімді емес деформациялар аймағы шегінде, қазба қуысы бағытында жыныстар деформациясының таралуына кедергі жасайды. Осылайша, массивте қазбаның қоршау-ұстап тұру бекітпесінің жыныс-анкерлік конструкциясы құрылады.

Қалыптасқан анкер сәулесінің ауытқуы келесі формула бойынша есептеледі [10]:

$$w = \frac{12}{384}, \quad w = \frac{12}{384} \cdot \frac{(\gamma \cdot H + (\ell_B + \ell_3) \gamma_{KB}) \cdot B^4}{E \cdot b \cdot (\ell_B + \ell_3)^3 \cdot K_{ypr}}. \quad (8)$$

мұнда  $\gamma$  – тұқымдардың көлемдік салмағы тең деп қабылданады 2,5 кН/м<sup>3</sup>;

$E$  – тау жыныстарының стратификация аймағы шегіндегі төбе жыныстарының Юнг модулі (орташа өлшенген), МПа; есептеу кезінде мыналарды қабылдау қажет: 3000 МПа – көмір үшін; 10500 МПа – аргиллит үшін; 20500 МПа – алевролит үшін; 30500 МПа – құмтас үшін;

$b$  – қалыптасқан анкерлік арқалықтың ені, м.

$K_{ypr}$  – төбе жыныстарына байланысты анкерлік бекіту есебінен қалыптасқан арқалықты нығайту коэффициенті:

$K_{ypr}$ , егер қысымға төбе жыныстарының кедергісі  $R_{ск} > 80$  МПа;

$K_{ypr} = 1,35$ , егер  $35 \leq R_{ск} \leq 80$  МПа;

$K_{ypr} = 1,5$ , егер  $R_{ск} < 35$  МПа.

### Қорытынды

Осы зерттеулердің міндеті әлсіреген тау жыныстарымен өзара әрекеттесу кезінде анкерлік бекітпесі бар шахталардың дайындық қазбаларын қамтитын жыныс массивінің деформациясының ерекшеліктерін белгілеу болып табылады.

Жұмыстың негізгі ғылыми нәтижелері мыналарды қамтиды: негізгі анкерлік бекітпе орнатылғаннан кейін 1,0–1,5 мм-ге дейінгі төбе жыныстарының ығысуын қамтамасыз ету үшін 150 м маңайымен жүргізілетін қазба кенжарының осіне қарай 60–70° көлбеумен тұрақсыз тікелей төбеге орнатылған қоршау анкерлік бекітпе, 1,7–2,0 м

қалыңдықтағы бекітілген жыныстардың көтергіш қоршау қабатын жасайды, бұзылған контур маңындағы жыныстар аймағында пайда болатын төбенің деформацияланған жыныстары.

#### Алғыс

**Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № AP22785093).**

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Прокопов А.Ю. Рок тоннелін реконструкциялау жағдайында жыныс массивінің беріктік қасиеттерін анықтаудың бұзылмайтын экспресс-әдісінің дәлдігін сынау және бағалау. / А.Ю. Прокопов, Ю.А. Гергарт. // Кен журналы. 2015. № 4. Б. 101–107 (орыс тілінде)
2. Терентьев П.Ю. Технологиялық әсерлер болған кезде көлденең қазбаларда тау қысымын есептеу үшін сандық әдістерді қолдану. / П.Ю. Терентьев, Н.П. Немчин. // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2015. № 11. Б. 162–172 (орыс тілінде)
3. Демин В.Ф. Әр түрлі бекітпелер кезіндегі қазбалардағы жыныстық жалаңаштанулардың тұрақтылығы. / В.Ф. Демин, А.Е. Сударииков, Т.В. Демина, Ю.Ю. Стефлюк және т. б. // КарМТУ университетінің еңбегі. 2015. № 1. Б. 68–70 (орыс тілінде)
4. Демин В.Ф. Төбе бекітпесінің көмегімен тау-кен қазбаларының тірек параметрлеріне көмір қабаттарының тектоникалық бұзылуының әсерін зерттеу. / В.Ф. Демин, Е.Р. Халикова, Т.В. Демина, В.В. Журов. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2019. № 5. Б. 16–21 (ағылшын тілінде)
5. Жолмағамбетов Н. Қарағанды көмір бассейнінің тау-кен қазбаларын қоршаған тау-кен массивінің қауіпсіз геомеханикалық жай-күйін қамтамасыз ету. / Н. Жолмағамбетов, Е. Халикова, В. Демин, А. Балабас, Р. Абдрашев, С. Сүйінтаева. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2023. № 17 (1). Б. 74–83 (ағылшын тілінде)
6. Демин В.Ф. Жұмыстар айналасындағы ірі көмір жартасының тұрақтылығын арттыру үшін геомеханикалық процестерді басқару технологиясы. / В.Ф. Демин, Р.А. Мусин, Э.Р. Халикова, А.Е. Жұмабекова. // ҚарМТУ еңбектері. 2018. № 3. Б. 64–67 (ағылшын тілінде)
7. А.А. Зейнуллин, В.Ф. Демин, А.С. Кайназарова және басқалары. Тау-кен қазбаларын жүргізу мен қолдаудың геомеханикалық қағидаттары: оқу құралы. Екібастұз: Қ. Сәтбаев атындағы ЕІТИ, 2019, 148 б. (орыс тілінде)
8. Демин В. Тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізуді қамтамасыз ету үшін тазарту кенжарына жоғары тау қысымы аймақтарында тау-кен қазбаларын бекіту технологиясын зерттеу. / В. Демин, Е. Халикова, М. Рабатұлы, З. Аманжолов, А. Жұмабекова, Д. Сыздықбаева, Г. Бахмағамбетова, Ю. Елжанов. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. № 18 (1). Б. 27–36 (ағылшын тілінде)
9. Yang H. Көмір жолы үшін топырақты тез қазу үшін төмен тығыздықтағы төбені қолдау технологиясын зерттеу және қолдану. / Yang H., Han C., Zhang N., Pan D., Xie Z. // Инженерлік-геологиялық ізденістер. 2020. Т. 38. Б. 389–401 (ағылшын тілінде)
10. Xiong Y. Жақын көмір қабаттары тобында қайта қазу кезінде төменгі көмір қабаты бетінің тұрақтылығын талдау. / Xiong Y., Kong D., Wen Z., Wu G., Liu Q. // Ғылыми есептер. 2022. № 12 (1). Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
11. Нехрий С. Қорғаныш құрылыстары астындағы жұмсақ жанасатын жыныстардың геомеханикалық жай-күйін зерттеу. / С. Нехрий, Т. Нехрий, О. Золотарова, С. Волков. // Тау-кен-геологиялық-мұнай жинау. 2021. № 36 (4). Б. 61–71 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Prokopov A.Yu. Aprobatsiya i otsenka tochnosti nerazrushayushchego ekspress-metoda opredeleniya prochnostnykh svoistv porodnogo massiva v usloviyakh rekonstruktsii Rokskogo tonnelya. / A.Yu. Prokopov, Yu.A. Gergart. // Gornyi zhurnal. 2015. № 4. S. 101–107 [Prokopov A.Yu. Testing and assessment of the accuracy of the non-destructive express method for determining the strength properties of the rock massif under the conditions of reconstruction of the Rock tunnel. / Prokopov A.Yu., Gergart Yu.A. // Mining Journal. 2015. № 4. P. 101–107] (in Russian)
2. Terent'ev P.Yu. Primenenie chislennykh metodov dlya rascheta gornogo davleniya v gorizont'al'nykh vyrabotkakh pri nalichii tekhnologicheskikh vozd'eistvii. / P.Yu. Terent'ev, N.P. Nemchin. // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2015. № 11. S. 162–172 [Terentyev P.Yu. Application of quantitative methods for calculating rock pressure in horizontal workings in the presence of technological impacts. / Terentyev P.Yu., Nemchin N.P. // Mining Information and Analytical Bulletin. 2015. № 11. P. 162–172] (in Russian)



3. Demin V.F. Ustoichivost' porodnykh obnazhenii v vyrabotkakh pri razlichnykh vidakh krep. / V.F. Demin, A.E. Sudarikov, T.V. Demina, Yu.Yu. Steflyuk i dr. // Trudy universiteta KarGTU. 2015. № 1. S. 68–70 [Demin V.F. Stability of rock outcrops in workings under various types of support. / Demin V.F., Sudarikov A.E., Demina T.V., Steflyuk Yu.Yu. et al. // Proceedings of the University of KSTU. 2015. № 1. P. 68–70] (in Russian)
4. Diomin V.F. Studying coal seam bedding tectonic breach impact on supporting parameters of mine workings with roof bolting. / Diomin V.F., Khalikova E.R., Diomina T.V., Zhurov V.V. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2019. № 5. P. 16–21 (in English)
5. Zholmagambetov N. Ensuring a safe geomechanical state of the rock mass surrounding the mine workings in the Karaganda coal basin, Kazakhstan. / Zholmagambetov N., Khalikova E., Demin V., Balabas A., Abdrashev R., Suiintayeva S. // Mining of Mineral Deposits. 2023. № 17 (1). P. 74–83 (in English)
6. Demin V.F. Technology of Controlling Geomechanical Processes for Increasing Stability of Coal-Rock Massive Around Workings. / Demin V.F., Musin R.A., Halikova E.R., Zhumabekova A.E. // Proceedings of the KSTU. 2018. № 3. P. 64–67 (in English)
7. Zeinullin A.A., Demin V.F., Kainazarova A.S. i dr. Geomekhanicheskie printsipy provedeniya i podderzhaniya gornyx vyrabotok: uchebnoe posobie. Ekibastuz: EITI im. akad. K. Satpaeva, 2019, 148 s. [Zeynullin A.A., Demin V.F., Kainazarova A.S. et al. Geomechanical principles of conducting and maintaining mine workings: a textbook. Ekibastuz: EITI named after Academician K. Satpayev, 2019, 148 p.] (in Russian)
8. Demin V. Research into mine working fastening technology in the zones of increased rock pressure behind the longwall face to ensure safe mining operations. / Demin V., Khalikova E., Rabatuly M., Amanzholov Z., Zhumabekova A., Syzdykbaeva D., Bakhmagambetova G., Yelzhanov Y. // Mining of Mineral Deposits. 2024. № 18 (1). P. 27–36 (in English)
9. Yang H. Research and application of low density roof support technology of rapid excavation for coal roadway. / Yang H., Han C., Zhang N., Pan D., Xie Z. // Geotechnical and Geological Engineering. 2020. V. 38. P. 389–401 (in English)
10. Xiong Y. Analysis of coal face stability of lower coal seam under repeated mining in close coal seams group. / Xiong Y., Kong D., Wen Z., Wu G., Liu Q. // Scientific Reports. 2022. № 2 (1). P. 1–14 (in English)
11. Nehrii S. Investigation of the geomechanical state of soft adjoining rocks under protective constructions. / Nehrii S., Nehrii T., Zolotarova O., Volkov S. // Mining-geological-oil collection. 2021. № 36 (4). P. 61–71 (in English)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прокопов А.Ю. Аprobация и оценка точности неразрушающего экспресс-метода определения прочностных свойств породного массива в условиях реконструкции Рокского тоннеля. / А.Ю. Прокопов, Ю.А. Гергарт. // Горный журнал. 2015. № 4. С. 101–107 (на русском языке)
2. Терентьев П.Ю. Применение численных методов для расчета горного давления в горизонтальных выработках при наличии технологических воздействий. / П.Ю. Терентьев, Н.П. Немчин. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 11. С. 162–172 (на русском языке)
3. Демин В.Ф. Устойчивость породных обнажений в выработках при различных видах крепи. / В.Ф. Демин, А.Е. Судариков, Т.В. Демина, Ю.Ю. Стефлюк и др. // Труды университета КарГТУ. 2015. № 1. С. 68–70 (на русском языке)
4. Демин В.Ф. Изучение влияния тектонического нарушения напластования угольных пластов на опорные параметры горных выработок с помощью крепи кровли. / В.Ф. Демин, Е.Р. Халикова, Т.В. Демина, В.В. Журов. // Научный вестник Национального горного университета. 2019. № 5. С. 16–21 (на английском языке)
5. Жолмагамбетов Н. Обеспечение безопасного геомеханического состояния горного массива, окружающего горные выработки Карагандинского угольного бассейна, Казахстан. / Н. Жолмагамбетов, Е. Халикова, В. Демин, А. Балабас, Р. Абдрашев, С. Суйинтаева. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2023. № 17 (1). С. 74–83 (на английском)
6. Демин В.Ф. Технология управления геомеханическими процессами для повышения устойчивости угленосных массивов вокруг выработок. / В.Ф. Демин, Р.А. Мусин, Э.Р. Халикова, А.Е. Жумабекова. // Труды КарГТУ. 2018. № 3. С. 64–67 (на английском языке)
7. Зейнуллин А.А., Демин В.Ф., Кайназарова А.С. и др. Геомеханические принципы проведения и поддержания горных выработок: учебное пособие. Экибастуз: ЕИТИ им. акад. К. Сатпаева, 2019, 148 с. (на русском языке)

8. Демин В. Исследование технологии крепления горных выработок в зонах повышенного горного давления за очистным забоем для обеспечения безопасного ведения горных работ. / В. Демин, Е. Халикова, М. Рабатулы, З. Аманжолов, А. Жумабекова, Д. Сыздыкбаева, Г. Бахмагамбетова, Ю. Елжанов. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2024. № 18 (1). С. 27–36 (на английском языке)
9. Yang H. Исследование и применение технологии поддержки крыши с низкой плотностью для быстрой выемки грунта для угольной дороги. / Yang H., Han C., Zhang N., Pan D., Xie Z. // Инженерно-геологические изыскания. 2020. Т. 38. С. 389–401 (на английском языке)
10. Xiong Y. Анализ устойчивости поверхности угля нижнего угольного пласта при повторной разработке в группе близких угольных пластов. / Xiong Y., Kong D., Wen Z., Wu G., Liu Q. // Научные отчеты. 2022. № 12 (1). С. 1–14 (на английском языке)
11. Нехрий С. Исследование геомеханического состояния мягких примыкающих пород под защитными сооружениями. / С. Нехрий, Т. Нехрий, О. Золотарова, С. Волков. // Горно-геолого-нефтяной сборник. 2021. № 36 (4). С. 61–71 (на английском языке)

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Халикова Э.Р.**, Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті міндетін атқарушы, «Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан), [salyahova\\_e@mail.ru](mailto:salyahova_e@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1501-8492>  
**Жұмабекова А.Е.**, Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті міндетін атқарушы, «Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан), [aila1980@mail.ru](mailto:aila1980@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1501-5382>  
**Сыздыкбаева Д.С.**, т.ғ.м., оқытушы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ, «Тау-кен ісі» мамандығы бойынша постдокторант (Қарағанды қ., Қазақстан), [dikow-1290@mail.ru](mailto:dikow-1290@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0673-0384>  
**Мустафин М.Г.**, т.ғ.д., профессор, Санкт-Петербург тау-кен императрица Екатерина II университеті Инженерлік геодезия кафедрасының меңгерушісі (Санкт-Петербург қ., Ресей), [Mustafin\\_MG@pers.spmi.ru](mailto:Mustafin_MG@pers.spmi.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9416-2358>

#### Information about the authors:

**Khalikova E.R.**, Ph.D, Acting docent of the Department «Development of Mineral Deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)  
**Zhumabekova A.E.**, Ph.D, Acting docent of the Department «Development of Mineral Deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)  
**Syzdykbaeva D.S.**, Master of science, teacher, NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov», postdoctoral student with a degree in Mining (Karaganda, Kazakhstan)  
**Mustafin M.G.**, docent, Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy, St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II (St. Petersburg, Russia)

#### Сведения об авторах:

**Халикова Э.Р.**, Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)  
**Жумабекова А.Е.**, Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)  
**Сыздыкбаева Д.С.**, м.т.н., преподаватель, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова», постдокторант по специальности «Горное дело» (г. Караганда, Казахстан)  
**Мустафин М.Г.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Инженерной геодезии, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (г. Санкт-Петербург, Россия)



13-я Казахстанская Международная Конференция и Выставка

## ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

28-30 мая 2025

Астана, Казахстан



### ОРГАНИЗАТОРЫ

тел.: +7 727 258 34 34;

Выставка: Kulyash.Ablak@iteca.events

Конференция: Olga.Remorenko@iteca.events

### ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАРТНЕР



Министерство труда и социальной защиты населения  
Республики Казахстан



Код МРНТИ 53.37.13

С.С. Коныратбекова<sup>1</sup>, \*Ж. Шопанбек<sup>1</sup>, С.Б. Нуржанова<sup>2</sup>, С.А. Семенов<sup>3</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (г. Алматы, Казахстан),<sup>3</sup>РТУ МИРЭА (г. Москва, Россия)

## АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ОТ КАТИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ЦЕОЛИТАМИ

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные методы адсорбционной очистки промышленных сточных вод металлургических предприятий от ионов тяжелых металлов, включая медь, никель и цинк. Исследуется применение модифицированных цеолитных сорбентов, содержащих наноструктурные соединения ванадия и титана, полученные методом золь-гель технологии. Представлены экспериментальные данные по сорбционной емкости адсорбентов, демонстрирующие значительное повышение эффективности очистки при использовании гибридных нанокомпозиций. Оптимизированы условия адсорбции, включая влияние pH, температуры и концентрации металлов в растворе. Разработанная технология направлена на повышение уровня очистки сточных вод металлургического производства, минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и возможность вторичной переработки извлеченных металлов для их повторного использования в производственных процессах.

**Ключевые слова:** металлургия, сточные воды, адсорбция, цеолиты, тяжелые металлы, ванадий, титан, очистка воды, сорбция.

### Өнеркәсіптік суларды ауыр металл катиондарынан модификацияланған цеолиттер көмегімен адсорбциялық тазарту

**Андатпа.** Мақалада металлургиялық кәсіпорындардың өндірістік ағынды суларын ауыр металдар иондарынан (мыс, никель, мырыш) адсорбциялық тазартудың заманауи әдістері қарастырылады. Ванадий мен титанның золь-гель технологиясы арқылы алынған нанокұрылымды қосылыстармен модификацияланған цеолиттік сорбенттердің тиімділігі зерттелді. Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, гибриді нанокомпозициялар ауыр металдарды адсорбциялаудың жоғары тиімділігін қамтамасыз етеді. Адсорбция шарттары оңтайландырылды: pH деңгейі, температура және металдардың ерітіндідегі концентрациясы ескерілді. Дамыған технология металлургиялық өндіріс ағынды суларын тиімді тазартуға, қоршаған ортаға кері әсерді азайтуға және бөлінген металдарды қайта өңдеу арқылы өндірістік процестерде екінші рет пайдалануға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** металлургия, ағынды су, адсорбция, цеолиттер, ауыр металдар, ванадий, титан, су тазарту, сорбция.

### Adsorption treatment of industrial wastewater from heavy metal cations using modified zeolites

**Abstract.** The article examines modern adsorption methods for purifying industrial wastewater from metallurgical enterprises contaminated with heavy metal ions, including copper, nickel, and zinc. The study focuses on the use of modified zeolite sorbents containing nanostructured vanadium and titanium compounds synthesized using sol-gel technology. Experimental data on the sorption capacity of these materials demonstrate a significant increase in purification efficiency when hybrid nanocomposites are applied. The adsorption conditions were optimized, considering pH levels, temperature, and metal concentrations in the solution. The developed technology aims to improve the treatment of metallurgical wastewater, reduce environmental impact, and enable the secondary recovery of extracted metals for reuse in industrial processes.

**Key words:** metallurgy, wastewater, adsorption, zeolites, heavy metals, vanadium, titanium, water purification, sorption.

### Введение

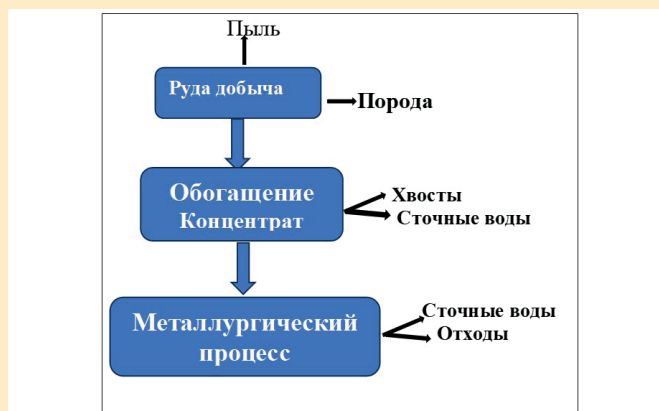
Рост промышленного производства, особенно в металлургии, приводит к значительному загрязнению водоемов тяжелыми металлами. Их накопление в окружающей среде оказывает негативное влияние на экосистемы и здоровье человека. Существующие методы очистки сточных вод не всегда обеспечивают снижение концентрации токсичных веществ до нормативных значений, что делает актуальным поиск эффективных, доступных и экономичных сорбентов.

Цеолиты – природные материалы с высокой удельной поверхностью и селективностью, широко используемые в процессах адсорбции. Однако для повышения их эффективности в очистке сточных вод требуется модификация. В мировой практике [1–10] активно изучаются методы улучшения сорбционных свойств природных сорбентов, включая их химическую и термическую обработку. В данной работе исследованы цеолитные адсорбенты, модифицированные наночастицами титана и ванадия, с целью повышения их сорбционной способности к катионам тяжелых металлов.

На рис. 1 представлен технологический путь поступления отходов в окружающую среду при добыче, обогащении и переработке руд.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- синтез наноструктурных соединений титана и ванадия методом золь-гель технологии и модифицирование цеолитов [11, 12];



**Рис. 1. Технологический путь поступления отходов в окружающую среду при добыче, обогащении и переработке руд.**

**Сурет 1. Кендерді өндіру, байыту және өңдеу кезінде қалдықтардың қоршаған ортаға шығарылуының технологиялық жолы.**

**Figure 1. Technological pathway of waste input into the environment during mining, concentration and processing of ores.**

- изучение физико-химических и адсорбционных характеристик модифицированных цеолитов;
- определение зависимости сорбционной емкости от pH среды и времени контакта с загрязненной водой.

Разработка эффективных и экологически безопасных технологий для снижения концентрации ионов тяжелых металлов в сточных водах до нормативных значений остается актуальной задачей.

### Методы исследования

В рамках научных исследований использовались современные аналитические приборы:

- ИК-Фурье спектрометр Nicolet IR200, работающий в диапазоне  $500\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ , применялся для проведения инфракрасной спектроскопии;
- Просвечивающий электронный микроскоп ЭМ-125 с ускоряющим напряжением 75 кВ использовался для детального исследования образцов, которые готовились по стандартной методике;
- Оптический микроскоп МИН-8 применялся для дополнительной характеристики синтезированных материалов;
- Дериватограф Q-1000/D (разработчики: F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey, производство – фирма «МOM») использовался для термического анализа. Данный метод позволял фиксировать изменения физических и термохимических свойств образцов в процессе их нагрева.

### Результаты и их обсуждение

В последнее время значительное внимание уделяется исследованию цеолитов, модифицированных металлическими наночастицами, с целью их последующего использования в адсорбционно-каталитических процессах. Высокая поверхностная активность таких материалов открывает перспективы их промышленного применения.

В данной работе использованы цеолиты, модифицированные золь-гель наноструктурами титана и ванадия. Исходными соединениями служили аммиакатные комплексы ванадия  $[(VO_2)_x(OH)_y \cdot nNH_3]$  и титана  $(NH_4)_2TiO(SO_4)_2 \cdot H_2O$ . Для оптимизации процесса синтеза учтены ключевые параметры: pH среды, скорость перемешивания, температура и концентрация реагентов.

Модификация цеолита осуществлялась пропиткой его растворами ксерогеля  $V_2O_5$  (1 г/л и 5 г/л),  $TiO_2$  и их гибридной композицией (1%), с последующей термообработкой при  $500\text{ }^\circ\text{C}$ .

Адсорбционная способность изучена на модельных растворах меди ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , 100 г/л, pH = 3,07). Наиболее высокая сорбционная емкость (300 мг/г) достигнута у цеолита, модифицированного  $TiO_2$  и  $V_2O_5$ , что объясняется увеличенной удельной поверхностью.

Эффективность устойчивого функционирования адсорбентов анализировалась методом термического анализа с применением дериватографа. Исследование термического поведения образцов в пределах возможностей используемого оборудования позволило определить состав термически активных компонентов, а также отследить динамику их изменения в ходе нагревания.

На основе данных дифференциально-термического анализа (DTA) установлено, что соответствующая реакция, отраженная на DTA-кривой, протекает в температурном диапазоне  $20\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$ . При динамическом нагревании цеолита, модифицированного гибридной композицией

оксидов ванадия и титана, в интервале температур  $200\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$  наблюдается последовательное выделение летучих соединений  $H_2O$  и  $CO_{ам}$  в атмосферу (рис. 2). При этом модифицированный цеолит сохраняет свою структурную стабильность.

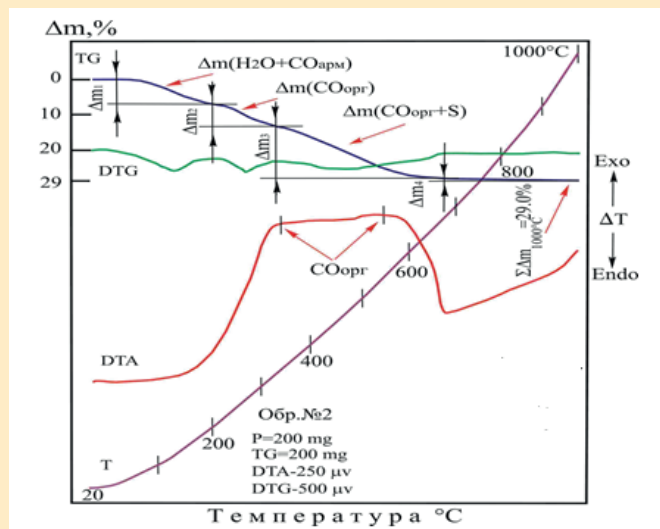


Рис. 2. Дериватограмма цеолита, модифицированного гибридной композицией оксидов ванадия и титана.

Сурет 2. Ванадий мен титан оксидтерінің гибриді құрамы бойынша модификацияланған цеолит дериватограммасы.

Figure 2. Derivatogram of zeolite modified by hybrid composition of vanadium and titanium oxides.

При дальнейшем градиентном нагреве образца в системе не наблюдается значительных термических эффектов. В диапазоне температур  $200\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$  термогравиметрическая (TG) кривая демонстрирует лишь незначительное снижение массы, составившее всего 3%. Основной вклад в эту потерю массы вносит слабовыраженное испарение гидроксильной воды, доля которой составляет около 1,5%.

По данным дифференциальной термогравиметрии (DTG) интенсивность разложения и дегазации образца остается на низком уровне (таблица 1), что свидетельствует о высокой стабильности модифицированного цеолита в данном температурном диапазоне.

В отличие от термогравиметрических характеристик исследуемых образцов, DTA-кривая модифицированного цеолита в диапазоне температур  $\sim 200\text{--}680\text{ }^\circ\text{C}$  демонстрирует выраженный экзотермический эффект. Его интенсивность настолько высока, что он затеняет прочие термические процессы, происходящие в данном интервале.

Несмотря на это, структура композиции модифицированного адсорбента остается стабильной, не подвергаясь существенным изменениям в ходе нагрева. Данный факт свидетельствует о высокой термической устойчивости материала и его потенциале для применения в условиях высоких температур.

В таблице 2 приведены сравнительные данные текстурных характеристик немодифицированного и модифицированных адсорбентов на основе цеолита с использованием метода Брунера-Эммета-Теллера (БЭТ).

Таблица 1

Термогравиметрические показатели модифицированного композицией оксидов ванадия и титана

Кесте 1

Модификацияланған ванадий және титан оксиді құрамының термогравиметриялық қасиеттері

Table 1

Thermogravimetric indices of vanadium and titanium oxides modified by composite composition

| Последовательность потери веса   | Летучие компоненты | Количество потери веса, в % | Интервал температур разложения, °С |
|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| $\Delta m_1$                     | $H_2O + CO_{атм}$  | 7,0                         | 20–200                             |
| $\Delta m_2$                     | $OH + CO_{атм}$    | 6,5                         | 200–325                            |
| $\Delta m_3$                     | $CO_{орг}$         | 15,0                        | 325–680                            |
| $\Delta m_4$                     | $H_2O + CO_{орг}$  | 9,0                         | 680–1000                           |
| $\Sigma \Delta m_{1000^\circ C}$ |                    | 37,5                        | 20–1000                            |

Таблица 2

Текстурные характеристики модифицированного и немодифицированного адсорбентов

Кесте 2

Модификацияланған және модификацияланбаған адсорбенттердің текстуралық сипаттамалары

Table 2

Texture characteristics of modified and unmodified adsorbents

| Адсорбенты                                                | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г | Удельный объем пор, см <sup>3</sup> /г | Средний размер пор, нм |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|
| Сорбент 1 немодифицированный                              | 312,6                                   | 0,164                                  | 1,713                  |
| Сорбент 2 модифицированный ксерогелью $V_2O_5$ (1 г/л)    | 319,0                                   | 0,161                                  | 1,714                  |
| Сорбент 3, модифицированный ксерогелью $V_2O_5$ (5 г/л)   | 371,2                                   | 0,161                                  | 1,714                  |
| Сорбент 4 модифицированный ксерогелью $TiO_2$             | 366,2                                   | 0,154                                  | 1,712                  |
| Сорбент 5 модифицированный композицией $TiO_2$ и $V_2O_5$ | 376,5                                   | 0,173                                  | 1,714                  |

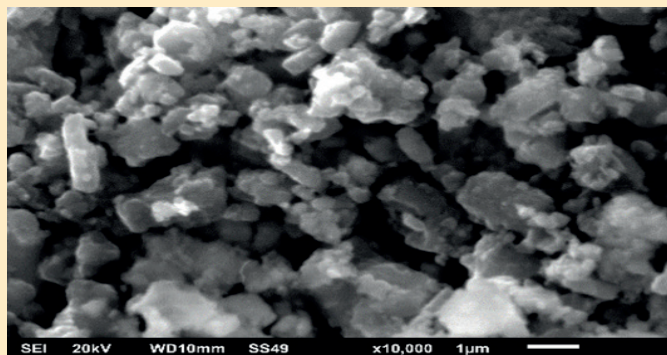
Согласно данным таблицы 2, модификация цеолита ксерогелем оксида ванадия увеличивает удельную поверхность с 319,0 до 371,2 м<sup>2</sup>/г, а ксерогелем титана (1%) – с 312,6 до 366,2 м<sup>2</sup>/г. При этом удельный объем пор незначительно уменьшается, а средний размер пор остается практически неизменным. Цеолит, обработанный композицией  $TiO_2$  и  $V_2O_5$ , демонстрирует наибольшие значения удельной поверхности и объема пор, что способствует повышению его сорбционной активности.

Поровая структура адсорбента играет важную роль в процессе сорбции тяжелых металлов: их избыточное накопление может блокировать поры, снижая эффективность материала. Для оптимальной очистки воды средний диаметр пор должен быть небольшим, а сорбент – устойчивым к накоплению металлов.

Электронно-микроскопический анализ (рис. 3) выявил сложную многоуровневую структуру модифицированного цеолита, включающую сферические сегменты (20–100 нм), объединенные в кластерные агрегаты. Наночастицы заключены в инертную матрицу из оксида кремния ( $SiO_2$ ). Гибридный сорбент представляет собой смесь аллотропных форм ванадия и титана с  $SiO_2$ , сочетая кристаллическую и аморфную фазы высокой дисперсности, что усиливает его адсорбционные свойства.

На рисунке 4 представлены изотермы адсорбции катионов меди для базового немодифицированного сорбента (сорбент 1) и модифицированных цеолитов (сорбенты 2–5). Из данных графиков видно, что максимальная сорбционная емкость увеличивается при





**Рис. 3.** Микрофотография адсорбента на основе цеолита, модифицированного ксерогелью оксида ванадия и титана.

**Сурет 3.** Ванадий титан оксиді ксерогельмен модификацияланған цеолит негізіндегі адсорбенттің микросуреті.

**Figure 3.** Microphotograph of the adsorbent based on zeolite modified with vanadium and titanium oxide xerogel.

переходе от исходного материала к модифицированным образцам.

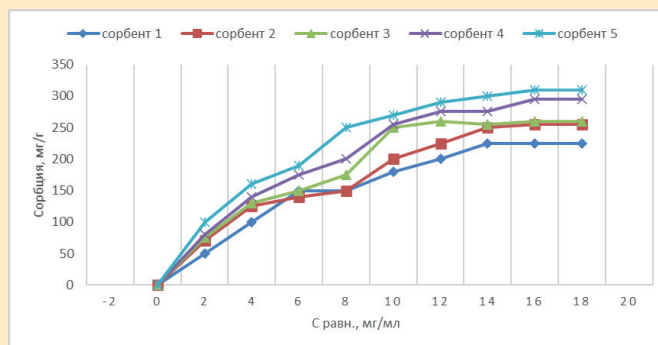
Так, для базового цеолита (сорбент 1) максимальная сорбционная емкость составляет примерно 220 мг/г. В то же время, наибольшее значение (~300 мг/г) наблюдается у цеолита, модифицированного композицией  $TiO_2$  и  $V_2O_5$  (сорбент 5).

Сравнительный анализ сорбционной способности цеолитов, модифицированных наносоединениями ванадия, титана и их гибридной композицией, показывает, что наибольшее количество ионов меди из раствора поглощается сорбентом, содержащим  $TiO_2$  и  $V_2O_5$ . Это связано с увеличением удельной поверхности данного материала по сравнению с образцами, модифицированными только ванадием или титаном (таблица 2). Таким образом, модификация цеолита гибридной композицией  $TiO_2$  и  $V_2O_5$  обеспечивает более высокую сорбционную активность по отношению к катионам меди.

Изотермы сорбции, полученные в результате исследования модельного раствора меди, на различных сорбентах отличаются друг от друга. То есть более высокие данные для процесса сорбции катионов меди из модельного раствора по степени очистки получены на цеолите модифицированного в виде ксерогеля ванадия и титана, а максимальная адсорбция – на модифицированном цеолите в виде гибридной композиции (таблица 3).

Из этих данных следует, что модифицированный цеолит в виде гибридной композиции титана и ванадия практически не снижает сорбционную емкость по отношению к меди (по сравнению с изучаемыми образцами смесей металлов).

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно заключить, что разработана серия цеолитсодержащих сорбентов, имеющих кристаллическую структуру, подобную структуре природных цеолитов. Синтезированные адсорбенты, модифицированные гибридной композицией ванадия и титана, могут быть



**Рис. 4.** Изотермы адсорбции катионов меди из модельных растворов на сорбентах: 1 – базовый (не модифицированный) цеолит; 2 – модифицированный ксерогелем ванадия (1 г/л); 3 – модифицированный ксерогелем ванадия (5 г/л); 4 – модифицированный диоксидом титана; 5 – модифицированный гибридной композицией ванадия и титана.

**Сурет 4.** Сорбенттердегі модельді ерітінділердің мыс катиондарының адсорбциялық изотермалары: 1 – негізгі (модификацияланбаған) цеолит; 2 – ванадий ксерогельмен модификацияланған (1г/л); 3 – ванадий ксерогельмен модификацияланған (5 г/л); 4 – титан диоксидімен модификацияланған; 5 – ванадий мен титанның гибриді құрамымен модификацияланған.

**Figure 4.** Adsorption isotherms of copper cations from the model solutions on sorbents: 1 – basic (not modified) zeolite; 2 – modified with vanadium xerogel (1g/l); 3 – modified with vanadium xerogel (5 g/l); 4 – modified with titanium dioxide; 5 – modified with hybrid composition of vanadium and titanium.

**Таблица 3**  
**Результаты определения сорбции модифицированных образцов по отношению к меди**

**Кесте 3**  
**Модификацияланған үлгілердің мысқа қатысты сорбциясын анықтау нәтижелері**

**Table 3**  
**Results of sorption of modified samples towards copper**

| Сорбенты                          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Сорбционная емкость к $Cu$ , мг/г | 132 | 164 | 200 | 250 | 300 |

эффективны при очистке промышленных вод, содержащих в основном цветные металлы.

### Выводы

1. Проведен научно-информационный анализ приоритетных направлений очистки промышленных сточных вод от тяжелых цветных металлов с использованием различных природных сорбционных материалов. Для повышения эффективности очистки сточных вод предпочтительно использование модифицированных адсорбентов в комбинации двух или более металлов.

2. В качестве матричной основы для получения образцов адсорбентов использовались цеолитные материалы, подвергнутые модификации синтезированными наноструктурными соединениями титана, ванадия, а также их гибридной композицией.

3. Проведен сравнительный анализ сорбционной способности цеолитов, модифицированных различными наносоединениями. Установлено, что цеолит, обработанный гибридной композицией ванадия и титана, обладает наибольшей эффективностью в удалении ионов меди из растворов по сравнению с образцами, содержащими только ванадий или титан.

4. Обоснована целесообразность применения многоступенчатой очистки воды от тяжелых металлов с использованием цеолита, модифицированного гибридной композицией оксидов ванадия и титана, что повышает эффективность очистных процессов.

#### Благодарность

Статья была подготовлена в рамках зарубежной практики в Москве на базе РТУ МИРЭА. Выражаю благодарность университету за предоставленный ценный опыт и профессиональную поддержку.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Курдюмов В.Р. Извлечение ионов никеля из сточных вод и промышленных растворов (обзор). / В.Р. Курдюмов, Г.И. Мальцев, К.Л. Тимофеев. // Цветные металлы. 2022. Т. 30. № 2. С. 123–143 (на русском языке)
2. Высоцкий С.П. Очистка сточных вод от тяжелых металлов. / С.П. Высоцкий, Д.И. Ермакова, Т.И. Степаненко. // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2017. № 2 (54). С. 69–77 (на русском языке)
3. Беликов М.Л. Эффективные и доступные способы очистки различных вод от фторсодержащих неорганических примесей. / М.Л. Беликов, Э.П. Локшин. // Цветные металлы. 2020. № 3. С. 79–85 (на русском языке)
4. Kuzin E.N. Очистка сточных вод в гальваническом производстве с использованием композиционных коагулянтов-восстановителей. / Kuzin E.N., Averina Yu.M., Kurbatov A.Yu., Sakharov P.A. // Цветные металлы. 2019. № 10. С. 91–96 (на английском языке)
5. Пат. № 2394765, Российская Федерация, МПК C01B39/02. Мезоструктурированные цеолитные материалы, способы их получения и применения. / Гарсиа-Мартинес Жави (ES), Йинг Джеки Й. (US); заявитель и патентообладатель Массачусетс Институт оф Технолоджи (US) – № 2006141360/15; заявл. 22.04.2005; опубл. 20.07.2010. Бюлл. № 20, 2 с. (на русском языке)
6. Шилина А.С. Сорбция катионов стронция из водных растворов синтетическими цеолитоподобными алюмосиликатами. / А.С. Шилина, А.Г. Шилин, С.Б. Бурухин. // Химия воды и водных растворов. 2019. № 3–6. С. 125–132 (на русском языке)
7. Ghadah M. Al-Senani. Синтез PS/RB-Cs и его использование для очистки воды, загрязненной тяжелыми металлами. / Ghadah M. Al-Senani, Mashael Alshabanat, Nada S. Al-Kadhi и др. // Журнал Саудовского химического общества. 2023. № 27. Ст. № 101693 (на английском языке)
8. Liao L. Получение и характеристика полиалюминийтитанового силиката и его эффективность при очистке воды с низкой мутностью. / Liao L., Zhang P. // Процессы. 2018. № 6 (8). С. 125 (на английском языке)
9. Vishnu Manirethan. Кинетические и термодинамические исследования адсорбции тяжелых металлов из водного раствора нанопигментом меланина, полученным из морского источника: *Pseudomonas stutzeri*. / Vishnu Manirethan, Keyur Raval, Reju Rajan, Harsha Thaira, Raj Mohan Balakrishnan. // Журнал экологического менеджмента. 2018. № 214. С. 315–324 (на английском языке)
10. Качалова Г.С. Коагуляционно-сорбционная очистка сточных вод. // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2 (78). С. 32–39 (на русском языке)
11. Baikunurova A.O. Модификация цеолита синтезированным ксерогелем ванадия. / Baikunurova A.O., Ussoltseva G.A., Markametova M.S., Nurzhanova S.B. // Журнал Балканской трибологической ассоциации. 2021. № 27 (3). С. 445–456 (на английском языке)
12. Ongarbayev Y. Деметаллизация тяжелого вакуумного гудрона титан-ванадиевыми цеолитными адсорбентами. / Ongarbayev Y., Oteuli Sh., Tileuberdi Y., Maldybaev G., Nurzhanova S. // Studia Universitatis Babes-Bolyai. Химия. 2020. С. 219–231 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Курдюмов В.Р. Никель иондарының сарқынды сулар мен өнеркәсіптік ерітінділерден алынуы (шолу). / Курдюмов В.Р., Мальцев Г.И., Тимофеев К.Л. // Түсті металдар. 2022. Т. 30. № 2. Б. 123–143 (орыс тілінде)
2. Высоцкий С.П. Ауыр металдардан сарқынды суларды тазарту. / С.П. Высоцкий, Д.И. Ермакова, Т.И. Степаненко. // НИИГД «Респиратор» ғылыми журналы. 2017. № 2 (54). Б. 69–77 (орыс тілінде)

3. Беликов М.Л. Әртүрлі суларды фтор құрамындағы бейорганикалық қоспалардан тазартудың тиімді және қолжетімді әдістері. / М.Л. Беликов, Э.П. Локишин. // Түсті металдар. 2020. № 3. Б. 79–85 (орыс тілінде)
4. Kuzin E.N. Гальваникалық өндірісте құрама коагулянт-восстановительдерді қолдана отырып, сарқынды суларды тазарту. / Kuzin E.N., Averina Yu.M., Kurbatov A.Yu., Sakharov P.A. // Түсті металдар. 2019. № 10. Б. 91–96 (ағылшын тілінде)
5. Пат. № 2394765. Ресей Федерациясы, ХПК C01B39/02. Мезоқұрылымды цеолиттік материалдар, оларды алу және қолдану әдістері. / Гарсиа-Мартинес Жави (ES), Йинг Джеки Й. (US); өтініш беруші және патент иесі Массачусетс Инститьют оф Технолоджи (US) – № 2006141360/15; бер. 22.04.2005; шығ. 20.07.2010. Бюлл. № 20, 2 б. (орыс тілінде)
6. Шилина А.С. Синтетикалық цеолит тәрізді алюмосиликаттармен суда еріген стронций катиондарын сорбциялау. / А.С. Шилина, А.Г. Шилин, С.Б. Бурухин. // Судың және су ерітінділерінің химиясы. 2019. № 3–6. Б. 125–132 (орыс тілінде)
7. Ghadah M. Al-Senani. PS/RB-Cs синтезі және оның ауыр металдармен ластанған суды тазарту үшін қолданылуы. / Ghadah M. Al-Senani, Mashaal Alshabanat, Nada S. Al-Kadhi және т.б. // Сауд Арабиясының химия қоғамы журналы. 2023. № 27. Мақ. №101693 (ағылшын тілінде)
8. Liao L. Полиалюминийтитан силикатын дайындау, сипаттау және оның төмен лайылықтағы суды тазартудағы тиімділігі. / Liao L., Zhang P. // Процестер. 2018. № 6 (8). Б. 125 (ағылшын тілінде)
9. Vishnu Manirethan. Pseudomonas stutzeri теңіз көзінен алынған меланин нанопигментімен суда еріген ауыр металдарды адсорбциялау бойынша кинетикалық және термодинамикалық зерттеулер. / Vishnu Manirethan, Keyur Raval, Reju Rajan, Harsha Thaira, Raj Mohan Balakrishnan. // Қоршаған ортаны басқару журналы. 2018. № 214. Б. 315–324 (ағылшын тілінде)
10. Качалова Г.С. Коагуляция-сорбция әдісімен сарқынды суларды тазарту. // Су және экология: мәселелер мен шешімдер. 2019. № 2 (78). Б. 32–39 (орыс тілінде)
11. Baikunurova A.O. Ванадий ксерогелімен модификацияланған цеолит. / Baikunurova A.O., Ussoltseva G.A., Markametova M.S., Nurzhanova S.B. // Балқан трибология қауымдастығы журналы. 2021. № 27 (3). Б. 445–456 (ағылшын тілінде)
12. Ongarbayev Y. Ауыр вакуумды гудронды титан-ванадий цеолит адсорбенттерімен деметаллизациялау. / Ongarbayev Y., Oteuli Sh., Tileuberdi Y., Maldybaev G., Nurzhanova S. // Studia Universitatis Babes-Bolyai, Chemistry. 2020. Б. 219–231 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Kurdyumov V.R. Izvlechenie ionov nikelya iz stochnykh vod i promyshlennykh rastvorov (obzor). / V.R. Kurdyumov, G.I. Mal'tsev, K.L. Timofeev. // Tsvetnye metally. 2022. T. 30. № 2. S. 123–143 [Kurdyumov V.R. Extraction of nickel ions from wastewater and industrial solutions (review). / Kurdyumov V.R., Maltsev G.I., Timofeev K.L. // Non-ferrous Metals. 2022. V. 30. № 2. P. 123–143] (in Russian)
2. Vysotskii S.P. Ochistka stochnykh vod ot tyazhelykh metallov. / S.P. Vysotskii, D.I. Ermakova, T.I. Stepanenko. // Nauchnyi vestnik NIIGD «Respirator». 2017. № 2 (54). S. 69–77 [Vysotsky S.P. Wastewater treatment from heavy metals. / Vysotsky S.P., Ermakova D.I., Stepanenko T.I. // Scientific Bulletin of NIIGD «Respirator». 2017. № 2 (54). P. 69–77] (in Russian)
3. Belikov M.L. Effektivnye i dostupnye sposoby ochistki razlichnykh vod ot ftorsoderzhashchikh neorganicheskikh primesei. / M.L. Belikov, E.P. Lokshin. // Tsvetnye metally. 2020. № 3. S. 79–85 [Belikov M.L. Effective and affordable methods for cleaning various waters from fluoride-containing inorganic impurities. / Belikov M.L., Lokshin E.P. // Non-ferrous Metals. 2020. № 3. P. 79–85] (in Russian)
4. Kuzin E.N. Treatment of wastewater in the electroplating industry using composite coagulants-reducers. / Kuzin E.N., Averina Yu.M., Kurbatov A.Yu., Sakharov P.A. // Non-ferrous Metals. 2019. № 10. P. 91–96 (in English)
5. Pat. № 2394765, Rossiiskaya Federatsiya, MPK S01V39/02. Mezostrukturirovannye tseolitnye materialy, sposoby ikh polucheniya i primeneniya. / Garsia-Martines Zhavi (ES), Iing Dzheki I. (US); заявитель i patentoobladatel' Massachusetts Instit'yut of Tekhnolodzhi (US) – № 2006141360/15; заявл. 22.04.2005; opubl. 20.07.2010. Byull. № 20, 2 s. [Patent № 2394765, Russian Federation, IPC C01B39/02. Mesoporous zeolite materials, methods of obtaining and application. / Garcia-Martinez Javi (ES), Ying Jackie Y. (US) applicant and patent holder Massachusetts Institute of Technology (US) – № 2006141360/15; appl. 22.04.2005; publ. 20.07.2010. Bull. № 20, 2 p.] (in Russian)
6. Shilina A.S. Sorbtsiya kationov strontsiya iz vodnykh rastvorov sinteticheskimi tseolitopodobnymi alyumosilikatami. / A.S. Shilina, A.G. Shilin, S.B. Burukhin. // Khimiya vody i vodnykh rastvorov. 2019.



- № 3–6. S. 125–132 [Shilina A.S. Sorption of strontium cations from aqueous solutions by synthetic zeolite-like aluminosilicates. / Shilina A.S., Shilin A.G., Burukhin S.B. // *Chemistry of Water and Aqueous Solutions*. 2019. № 3–6. P. 125–132] (in Russian)
7. Ghadah M. Al-Senani. Synthesis of PS/RB-Cs and its use in the treatment of water polluted with heavy metals. / Ghadah M. Al-Senani, Masha'al Alshabanat, Nada S. Al-Kadhi et al. // *Journal of the Saudi Chemical Society*. 2023. № 27. Art. № 101693 (in English)
  8. Liao L. Preparation and characterization of polyaluminum titanium silicate and its performance in the treatment of low-turbidity water. / Liao L., Zhang P. // *Processes*. 2018. № 6 (8). P. 125 (in English)
  9. Vishnu Manirethan. Kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of heavy metals from aqueous solution by melanin nanopigment obtained from marine source: *Pseudomonas stutzeri*. / Vishnu Manirethan, Keyur Raval, Reju Rajan, Harsha Thaira, Raj Mohan Balakrishnan. // *Journal of Environmental Management*. 2018. № 214. P. 315–324 (in English)
  10. Kachalova G.S. Koagulyatsionno-sorbtsionnaya ochistka stochnykh vod. // *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2019. № 2 (78). S. 32–39 [Kachalova G.S. Coagulation-sorption wastewater treatment. // *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2019. № 2 (78). P. 32–39] (in Russian)
  11. Baikunurova A.O. Zeolite modification by synthesized vanadium xerogel. / Baikunurova A.O., Ussoltseva G.A., Markametova M.S., Nurzhanova S.B. // *Journal of the Balkan Tribological Association*. 2021. № 27 (3). P. 445–456 (in English)
  12. Ongarbayev Y. Demetallization of heavy vacuum residuum by titanium-vanadium zeolite adsorbents. / Ongarbayev Y., Oteuli Sh., Tileuberdi Y., Maldybaev G., Nurzhanova S. // *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Chemistry*. 2020. P. 219–231 (in English)

#### Сведения об авторах:

**Коньратбекова С.С.**, к.т.н, сениор-лектор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Горно-металлургический институт, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [s.konyratbekova@satbayev.university](mailto:s.konyratbekova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-2148-035X>

**Шопанбек Ж.**, докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Горно-металлургический институт, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [shopanbek@mail.ru](mailto:shopanbek@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0008-6845-7185>

**Нуржанова С.Б.**, к.х.н., старший научный сотрудник, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (г. Алматы, Казахстан), [nurzhanova.s@mail.ru](mailto:nurzhanova.s@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7343-2793>

**Семенов С.А.**, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (г. Москва, Россия), [srg.semenov@gmail.com](mailto:srg.semenov@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-3496-058X>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Коньратбекова С.С.**, т.ғ.к., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының сениор-лекторы, Тау-кен металлургия институты, Сәтбаев Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Шопанбек Ж.**, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты, Тау-кен металлургия институты, Сәтбаев Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

**Нуржанова С.Б.**, х.ғ.к., аға ғылыми қызметкер, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ (Алматы қ., Қазақстан)

**Семенов С.А.**, профессор, «МИРЭА – Ресей технологиялық университеті» федералды мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны (Мәскеу қ., Ресей)

#### Information about the authors:

**Konyratbekova S.S.**, candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the department «Metallurgy and mineral processing», Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Shopanbek Zh.**, doctoral student of the department «Metallurgy and mineral processing», Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Nurzhanova S.B.**, candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, JSC Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky (Almaty, Kazakhstan)

**Semenov S.A.**, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «MIREA – Russian Technological University» (Moscow, Russia)



VI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА  
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

**kmf-expo.kz**

**23-25 апреля 2025**

Международный выставочный центр «EXPO»  
г. Астана, Казахстан

Организаторы:



Министерство  
промышленности и строительства  
Республики Казахстан



АСТАНА  
EXPO

Соорганизатор:



LEIPZIGER MESSE  
INTERNATIONAL

Код МРНТИ 87.21.15

K.T. Abdraimova, \*G.B. Toychibekova, G.S. Shalabaeva, A.M. Seytmetova  
 Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan)

## MECHANICAL COMPOSITION, DYNAMICS OF PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL CONTAMINATED WITH POLYMETALLIC COMBINE WASTE

**Abstract.** This article highlights the problems associated with heavy metal contamination of the soil near the Kargalinka tailings dam and the village of Kyzylzhol. This points to the problem of reclamation and the importance of solving this pressing problem. Soil pollution near tailings dumps, where mining waste is stored, poses a serious problem for the environment and public health, especially if the tailings dumps are saturated with heavy metals. The increased concentration of heavy metals in the soils near the tailings dam was *Pb* 55,9; *Cu* 6,8; *Zn* 45,2; *Cd* 4,7; *Ni* 8,2; *As* 5,1; *Hg* 4,8; *Cr* 13,7 mg/kg. Soil contamination with heavy metals can have long-term effects on ecosystems, agriculture, and human health. In many cases, these heavy metals are difficult to reclaim, which makes their effects long-term. As a result, soil pollution near tailings dumps has become one of the most acute environmental problems in the southern region of Kazakhstan, related to the consequences of the mining industry.

**Key words:** mechanical composition, soil, heavy metals, toxic effect, accumulation, fertility.

### Полиметалл комбинатының қалдықтарымен ластанған топырақтың механикалық құрамы, физикалық қасиеттері мен динамикасы

**Андатпа.** Мақалада Қарғалы қалдық қоймасы мен Қызылжол ауылының маңындағы топырақтың ауыр металдармен ластануына байланысты проблемалар баяндалады. Бұл өзекті мәселені шешудің маңыздылығын қалпына келтіру мәселесін көрсетеді. Тау-кен қалдықтары сақталатын қалдық қоймаларының жанындағы топырақтың ластануы қоршаған ортаға, халықтың денсаулығына, әсіресе қалдық қоймалары ауыр металдармен қаныққан болса, үлкен проблема тудырады. Қалдық қоймасына жақын топырақтағы ауыр металдардың жоғары концентрациясы *Pb* 55,9; *Cu* 6,8; *Zn* 45,2; *Cd* 4,7; *Ni* 8,2; *As* 5,1; *Hg* 4,8; *Cr* 13,7 мг/кг құрады. Топырақтың ауыр металдармен ластануы экожүйелерге, ауыл шаруашылығына және адам денсаулығына ұзақ мерзімді әсер етуі мүмкін. Көптеген жағдайларда бұл ауыр металдарды қалпына келтіру қиын, бұл олардың әсерін ұзақ уақытқа созады. Нәтижесінде қалдық қоймалар маңындағы топырақтың ластануы тау-кен өнеркәсібінің салдарымен байланысты Қазақстанның оңтүстік өңірінің ең өткір экологиялық проблемаларының біріне айналды.

**Түйінді сөздер:** механикалық құрам, топырақ, ауыр металдар, токсикалық әсер, аккумуляция, құнарлылық.

### Механический состав, динамика физических свойств почвы, загрязненной отходами полиметаллического комбината

**Аннотация.** В статье освещаются проблемы, связанные с загрязнением почвы вблизи хвостохранилища Каргалинка и села Кызылжол тяжелыми металлами. Это указывает на проблему рекультивации важности решения насущной проблемы. Загрязнение почвы вблизи хвостохранилищ, где хранятся отходы горно-добывающей промышленности, представляет серьезную проблему для окружающей среды, здоровья населения, особенно если хвостохранилища насыщены тяжелыми металлами. Повышенная концентрация тяжелых металлов в почвах вблизи хвостохранилища составляла: *Pb* 55,9; *Cu* 6,8; *Zn* 45,2; *Cd* 4,7; *Ni* 8,2; *As* 5,1; *Hg* 4,8; *Cr* 13,7 мг/кг. Загрязнение почвы тяжелыми металлами может иметь долгосрочные последствия для экосистем, сельского хозяйства и здоровья человека. Во многих случаях эти тяжелые металлы сложно поддаются рекультивации, что делает их воздействие долговременным. В результате загрязнение почвы вблизи хвостохранилищ стало одной из наиболее острых экологических проблем южного региона Казахстана, связанных с последствиями горнодобывающей промышленности.

**Ключевые слова:** механический состав, почва, тяжелые металлы, токсическое воздействие, аккумуляция, плодородие.

### Introduction

The analysis of polymetallic combine waste on the dynamics of mechanical soil components is a major environmental and engineering problem. The process of mining and processing metals can lead to emissions of harmful substances, including heavy metals and other chemical compounds that affect the environment as a whole. There are several key factors that can have an impact on the mechanical composition [1].

The study of polymetallic combine waste on the dynamics of the mechanical composition of soils is the basis for environmental and engineering phenomena, since land pollution from metal mining and processing waste can change their physical and mechanical properties [2]. Let's consider exactly how such conclusions can arise on the mechanical composition of soil: 1. Changes in the mechanical composition of the soil. 2. Waste from polymetallic plants can negatively change the mechanical composition of soil, which includes the ratios of fractions (sand, clay, silt). This can [3] be defined as follows: An increase in the proportion of small particles. Many waste plants (for example, sludge, dust) contain small particles that, once in the soil, may contain their share of small fractions (clay and silt) [4]. This leads to a decrease in the water permeability and drainage properties of the soil layers, as well as to its greater density. Soil samples were taken from the Kargalinka tailings dam located near the village of Kyzylzhol [5, 6].

The impact of polymetallic combine waste on changes in the mechanical composition of soil is a significant environmental issue. Waste generated by polymetallic extraction and processing (such as slag, tailings, smelting residues, and other by-products) can cause notable alterations in soil properties, including its mechanical composition. The mechanical composition of soil refers to the relative proportions of different particles. 1. Changes in Soil Granulometric Composition: Introduction of fine particles: Polhigher clay and silt content; soil texture degradation: The additional fine particles can cause a disruption in the natural soil structure. Soil becomes more compact and loses its original texture, resulting in reduced drainage, lower water retention capacity, and increased risk of soil erosion. 2. Changes in Soil Density and Porosity: increased soil density: Polymetallic waste, particularly heavy, dense residues such as slag or certain metal-rich particles, can increase the soil's bulk density. This higher density can reduce the porosity of the soil, decreasing its ability to retain water and oxygen. Compaction of the soil also occurs, limiting the movement of roots and making the soil less suitable for plant growth; reduced porosity: When fine metal particles from the waste fill the pores in the soil, the porosity decreases. Lower porosity means reduced water infiltration and air exchange, which can impact the soil's structural integrity and biological health. 3. Impact on Soil Strength and Stability: Alteration of cohesion: The introduction of toxic metals or other chemical



compounds from the waste can disrupt the cohesive forces between soil particles, leading to reduced shear strength. This makes the soil more susceptible to erosion and landslides, particularly in sloped areas. As the mechanical stability of the soil decreases, it becomes less effective at supporting vegetation and can lead to structural failure in engineered landscapes, such as roads or construction sites; increased compressibility: The presence of waste materials can increase the compressibility of the soil. In soils with a high amount of clay or fine particles from polymetallic waste, the soil becomes more prone to settlement under load, which can cause issues for agricultural activities and construction projects [7].

The effect of polymetallic combine waste on soil mechanical composition is profound and multifaceted. By introducing fine particles, increasing soil density, altering porosity, and adding toxic metals, the waste can weaken the soil's structural integrity, reduce its water retention capacity, and increase its susceptibility to erosion [8]. These changes can significantly degrade soil quality, limiting its use for agriculture and other land-based activities. Long-term management strategies, including the treatment and remediation of contaminated soils, are essential to mitigate these effects and restore the soil's natural mechanical properties [9, 10].

The presence of heavy metals in soil and their remediation using bioremediation methods is one of the pressing contemporary issues. Data on the analysis of soils from recreational and mining complexes located near non-ferrous metallurgy enterprises in the Turkestan region are presented. The dependence of the chemical composition of soil samples, collected from various points in the Turkestan region and the city of Shymkent, on the distribution of heavy metals is demonstrated [11].

### Materials and Main Methods

The soil samples required for analysis were collected using a titanium-made soil drill. Samples were taken three times at

depths of 0–5, 5–20, 20–30, 30–40, and 40–50 cm from five points (the corners and the center of a 5 x 5 m square). The collected samples were mixed on a plastic sheet, and a subsample of no less than 400 g (on a dry matter basis) was taken. For storage and transportation, the samples were placed in cotton bags.

In the laboratory, the soil samples were dried under dry-air conditions and then ground. They were sieved through a mesh with a diameter of 1 mm. The samples were carefully spread on thick paper and cleaned of stones, glass, plant roots, and other debris.

To determine the content of heavy metals, the soil samples were ground into a fine powder using an agate mortar.

For humus determination, the soil samples were cleaned of plant root residues, carefully pulverized, sieved through a 0.25 mm mesh, and analyzed using the method of I.V. Tyurin. The accuracy of the analysis results was verified by comparing the determined components with the known values in soil standards.

### Results

The effect of polymetallic combine waste on the microfauna of polluted soil is an important aspect of environmental health, as the microfauna (including soil microorganisms, nematodes, microarthropods, and other small organisms) plays a crucial role in maintaining soil fertility, structure, and nutrient cycling. The presence of toxic pollutants from polymetallic waste, such as heavy metals (lead, cadmium, copper, zinc, etc.), can have profound impacts on the diversity, abundance, and activity of soil microfauna, leading to various negative ecological consequences. Toxic Effects of Heavy Metals on Soil Microorganisms-heavy metal contamination: Polymetallic wastes typically contain high concentrations of toxic metals like cadmium, lead, arsenic, copper, and zinc. These metals can accumulate in the soil and poi-

Table 1

*Indicators of experimental data on the study of soil mechanical composition depending on distance 0–10 km and depth (concentration of heavy metal salts 1450 mg/kg)*

Кесте 1

*0–10 км қашықтық пен тереңдікке байланысты топырақтың механикалық құрамын зерттеудің эксперименттік деректерінің көрсеткіштері (ауыр металл тұздарының концентрациясы 1450 мг/кг)*

Таблица 1

*Показатели экспериментальных данных исследования механического состава почвы в зависимости от расстояния 0–10 км и глубины (концентрация солей тяжелых металлов 1450 мг/кг)*

| The horizon of the studied soil, cm | Particle sizes, mm | Structural elements of the soil | Dimensions of the structural elements, kg |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 0–30                                | 5–1,5              | the rocky layer                 | 1,85                                      |
|                                     | 1,5–0,75           | crushed                         | 1,98                                      |
|                                     | 0,75–0,5           | coarse sand                     | 2,65                                      |
|                                     | < 0,5              | stone coarse sand               | 2,43                                      |
| 31–60                               | 0,25–0,05          | medium-fine sand fine sand      | 1,02                                      |
|                                     | 0,05–0,01          | coarse dust                     | 0,55                                      |
|                                     | 0,01–0,005         | medium-fine dust                | 1,02                                      |
|                                     | 0,005–0,001        | fine dust                       | 2,37                                      |

Table 2

*Indicators of experimental data on the study of soil mechanical composition depending on the distance of 11–15 km and depth (concentration of heavy metal salts 1090 mg/kg)*

Кесте 2

*11–15 км қашықтыққа және тереңдікке байланысты топырақтың механикалық құрамын зерттеудің тәжірибелік деректерінің көрсеткіштері (ауыр металл тұздарының концентрациясы 1090 мг/кг)*

Таблица 2

*Показатели экспериментальных данных исследования механического состава почвы в зависимости от расстояния 11–15 км и глубины (концентрация солей тяжелых металлов 1090 мг/кг)*

| The horizon of the studied soil, cm | Particle sizes, mm | Structural elements of the soil | Dimensions of the structural elements, kg |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 0–30                                | 5–1,5              | the rocky layer                 | 1,75                                      |
|                                     | 1,5–0,75           | crushed                         | 1,89                                      |
|                                     | 0,75–0,5           | coarse sand                     | 2,54                                      |
|                                     | < 0,5              | stone coarse sand               | 2,12                                      |
| 31–60                               | 0,25–0,05          | medium-fine sand fine sand      | 1,01                                      |
|                                     | 0,05–0,01          | coarse dust                     | 0,33                                      |
|                                     | 0,01–0,005         | medium-fine dust                | 1,03                                      |
|                                     | 0,005–0,001        | fine dust                       | 2,21                                      |

Table 3

*Indicators of experimental data on the study of soil mechanical composition depending on the distance of 16–20 km and depth (concentration of heavy metal salts 910 mg/kg)*

Кесте 3

*16–20 км қашықтыққа және тереңдікке байланысты топырақтың механикалық құрамын зерттеудің тәжірибелік деректерінің көрсеткіштері (ауыр металл тұздарының концентрациясы 910 мг/кг)*

Таблица 3

*Показатели экспериментальных данных исследования механического состава почвы в зависимости от расстояния 16–20 км и глубины (концентрация солей тяжелых металлов 910 мг/кг)*

| The horizon of the studied soil, cm | Particle sizes, mm | Structural elements of the soil | Dimensions of the structural elements, kg |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 0–30                                | 5–1,5              | the rocky layer                 | 0,97                                      |
|                                     | 1,5–0,75           | crushed                         | 1,23                                      |
|                                     | 0,75–0,5           | coarse sand                     | 1,75                                      |
|                                     | < 0,5              | stone coarse sand               | 1,02                                      |
| 31–60                               | 0,25–0,05          | medium-fine sand fine sand      | 0,92                                      |
|                                     | 0,05–0,01          | coarse dust                     | 0,30                                      |
|                                     | 0,01–0,005         | medium-fine dust                | 0,94                                      |
|                                     | 0,005–0,001        | fine dust                       | 1,97                                      |

son microorganisms, such as bacteria, fungi, and protozoa, which are critical for the soil's biological processes [12]. The influence of lead sulfate ( $PbSO_4$ ) concentration on the mechanical composition of soil near the tailings dump of a polymetallic plant can be significant. Lead sulfate, which is a common component of mining and smelting waste, has a toxic impact on the soil environment and its physical properties, especially in areas close to mining sites like tailings dumps. Here's how lead sulfate can affect the mechanical composition of soil in such environments. The influence of zinc salt (such as zinc sulfate,  $ZnSO_4$ ) concentration on the

mechanical composition of soil near the tailings dump of a polymetallic plant can significantly affect the soil's physical properties and its capacity to support plant life and soil organisms. Zinc is a heavy metal commonly found in mining waste, and its presence in high concentrations can alter the granulometric composition, structure, porosity, density, and stability of the soil.

In this study, soil samples were taken from various depths (0–60 cm), depending on the distance of the tailings dump. The distance ranged from 0–15 km with concentrations of heavy metal salts of 1450 mg/kg of the studied soil.

Table 4

*Indicators of experimental data on the study of soil mechanical composition depending on the distance of 21–25 km and depth (concentration of heavy metal salts 387 mg/kg)*

Кесте 4

*21–25 км қашықтыққа және тереңдікке байланысты топырақтың механикалық құрамын зерттеудің тәжірибелік деректерінің көрсеткіштері (ауыр металл тұздарының концентрациясы 387 мг/кг)*

Таблица 4

*Показатели экспериментальных данных исследования механического состава почвы в зависимости от расстояния 21–25 км и глубины (концентрация солей тяжелых металлов 387 мг/кг)*

| The horizon of the studied soil, cm | Particle sizes, mm | Structural elements of the soil | Dimensions of the structural elements, kg |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 0–30                                | 5–1,5              | the rocky layer                 | 0,95                                      |
|                                     | 1,5–0,75           | crushed                         | 1,11                                      |
|                                     | 0,75–0,5           | coarse sand                     | 1,54                                      |
|                                     | < 0,5              | stone coarse sand               | 1,09                                      |
| 31–60                               | 0,25–0,05          | medium-fine sand fine sand      | 1,02                                      |
|                                     | 0,05–0,01          | coarse dust                     | 0,54                                      |
|                                     | 0,01–0,005         | medium-fine dust                | 1,87                                      |
|                                     | 0,005–0,001        | fine dust                       | 1,64                                      |

Table 5

*Indicators of experimental data on the study of soil mechanical composition depending on the distance of 26–30 km and depth (concentration of heavy metal salts 65 mg/kg)*

Кесте 5

*26–30 км қашықтыққа және тереңдікке байланысты топырақтың механикалық құрамын зерттеудің тәжірибелік деректерінің көрсеткіштері (ауыр металл тұздарының концентрациясы 65 мг/кг)*

Таблица 5

*Показатели экспериментальных данных исследования механического состава почвы в зависимости от расстояния 26–30 км и глубины (концентрация солей тяжелых металлов 65 мг/кг)*

| The horizon of the studied soil, cm | Particle sizes, mm | Structural elements of the soil | Dimensions of the structural elements, kg |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 0–30                                | 5–1,5              | the rocky layer                 | 1,06                                      |
|                                     | 1,5–0,75           | crushed                         | 1,27                                      |
|                                     | 0,75–0,5           | coarse sand                     | 1,69                                      |
|                                     | < 0,5              | stone coarse sand               | 0,93                                      |
| 31–60                               | 0,25–0,05          | medium-fine sand fine sand      | 0,76                                      |
|                                     | 0,05–0,01          | coarse dust                     | 0,75                                      |
|                                     | 0,01–0,005         | medium-fine dust                | 1,72                                      |
|                                     | 0,005–0,001        | fine dust                       | 1,46                                      |

Similar samples were also taken at a distance of 15–30 km from the experimental soil with a heavy metal salt content of 65 mg/kg.

Studying the dynamics of changes in soil moisture capacity and density depending on the composition of heavy metals and seasons is important for assessing the state of ecosystems and developing environmental protection measures. To gain a deeper understanding of these processes, field studies were conducted and data analysis was obtained, which helped identify patterns and develop recommendations for improving soil conditions (table 6).

## Discussion

Improving the quality of soil contaminated with heavy metal ions is crucial for maintaining soil health and preventing further environmental damage. There are several strategies that can help reduce heavy metal contamination and restore soil quality. Here are a few approaches-Phytoremediation: This involves using plants to remove, stabilize, or degrade heavy metals in the soil. Some plants, known as hyperaccumulators, are capable of absorbing heavy metals through their; Common plants used for phytoremediation include sunflowers. This involves the use of microorganisms (bacteria, fungi, or algae) to



Table 6

*Ratios of the data obtained on changes in soil moisture capacity and density*

Кесте 6

*Ылғал сыйымдылығы мен топырақ тығыздығының өзгеруі бойынша алынған мәліметтердің арақатынасы*

Таблица 6

*Соотношения полученных данных по изменению влагоемкости и плотности почвы*

| Interval and concentration of heavy metals | soil moisture indicators, % |        |        | The solid phase of the soil, y/cm <sup>3</sup> |        |        |
|--------------------------------------------|-----------------------------|--------|--------|------------------------------------------------|--------|--------|
|                                            | summer                      | spring | autumn | summer                                         | spring | autumn |
| 0–10 km, 1450 mg/kg                        | 24,1                        | 35,7   | 27,7   | 2,14                                           | 1,98   | 2,02   |
| 11–15 km, 1090 mg/kg                       | 25,9                        | 37,1   | 31,9   | 1,95                                           | 1,87   | 1,89   |
| 16–20 km, 910 mg/kg                        | 35,9                        | 48,3   | 43,4   | 1,82                                           | 1,82   | 1,83   |
| 21–25 km, 387 mg/kg                        | 47,2                        | 56,8   | 56,1   | 1,38                                           | 1,38   | 1,36   |
| 26–30 km, 65 mg/kg                         | 58,5                        | 63,7   | 64,8   | 1,17                                           | 1,17   | 0,99   |

degrade, transform, or immobilize heavy metals. Some bacteria can break down pollutants into less harmful forms or help precipitate metals out of the soil in a less toxic state.

Polluted soil, especially when contaminated with heavy metals, can have significant and far-reaching effects on the trophic chain (the sequence of organisms that eat one another in an ecosystem). Here's a breakdown of how polluted soil affects various trophic levels-primary producers: impact: plants are often the first organisms impacted by soil pollution. Heavy metals such as lead, mercury, cadmium, and arsenic can accumulate in plant tissues through the roots; effect on plants: these metals can interfere with the plant's nutrient uptake, hinder growth, cause chlorosis (yellowing of leaves), reduce photosynthesis, and even lead to plant death in extreme cases; trophic impact: since plants are the base of most trophic chains, contamination directly affects primary productivity and can limit the amount of food available for herbivores.

The presence of heavy metals in soil can have significant effects on both soil moisture capacity and soil density, which in turn affects the soil's overall health and its ability to support plant growth. Here's how heavy metal contamination can influence these soil properties-Compaction: heavy metals can cause soil particles to bind together, leading to increased soil compaction. Compacted soil has reduced pore space, which decreases the soil's ability to retain water. This leads to a lower soil moisture capacity, as water cannot be stored in the smaller pore spaces.

Reduced Aggregation: soil aggregates (clumps of soil particles held together by organic matter and microbes) are essential for maintaining pore spaces that allow water infiltration and retention. Heavy metals can disrupt soil aggregation by interfering with soil microbial activity and organic matter decomposition, leading to a decline in aggregate stability and water-holding capacity. Heavy metals like cadmium (**Cd**) and lead (**Pb**) can interfere with the soil's cation exchange capacity (CEC), which is the soil's ability to hold onto and exchange essential nutrients, including water. When CEC is disrupted, soil may lose its ability to retain water, leading to quicker drainage and less moisture available for plants. Some heavy metals can also affect the hydrophobicity of the soil, causing the soil to repel water. For instance, mercury and zinc can make soil particles less water-attractive, leading to poor water retention

and potentially waterlogged conditions on the surface, while deeper layers may remain drier.

### *Determination of heavy metals in the soil*

Determining heavy metals in soil is crucial for assessing soil quality, environmental contamination, and potential risks to human and ecological health. There are several methods commonly used for the analysis of heavy metals in soil.

#### *Environmental Standards and Safety Limits*

Regulatory bodies such as the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), World Health Organization (WHO), and other regional organizations provide soil quality guidelines and safety limits for various heavy metals, based on their toxicity and environmental persistence.

After determining the concentrations of heavy metals, a risk assessment can be conducted to evaluate the potential environmental or human health risks posed by the contaminants. This can include evaluating exposure pathways (e.g., through crops, water, or direct contact with soil).

The heavy metal content in the soil near a polymetallic plant is a crucial factor for understanding environmental contamination, potential risks to human health, and the health of the ecosystem. Polymetallic plants typically process multiple metals (such as lead, zinc, copper, cadmium, arsenic, and others), and their waste may contain high concentrations of these metals. These heavy metals can leach into the soil, affecting its quality and making it hazardous for both plants and animals, including humans who depend on the land for agriculture or other activities.

Polymetallic plants usually process ore that contains a combination of metals. Consequently, the waste from such plants (e.g., tailings, slag, or other byproducts) can result in contamination of several metals in the surrounding soil. Some of the most common heavy metals found near these plants include:

1. Lead (**Pb**): Lead is toxic, especially to the nervous system, and can contaminate the soil, water, and crops grown in the vicinity.

2. Cadmium (**Cd**): Cadmium is highly toxic and can accumulate in plants, entering the food chain. Long-term exposure can cause kidney damage and bone issues.

3. Zinc (**Zn**): Zinc, while essential in small amounts for plant growth, can be toxic in larger concentrations, causing growth inhibition and other plant issues.

4. Copper (**Cu**): Copper is another essential micronutrient for plants, but in high concentrations, it can be toxic to both plants and soil microorganisms.

5. Arsenic (**As**): Arsenic is a potent carcinogen and neurotoxin. Soil contaminated with arsenic can lead to long-term health risks for humans and wildlife.

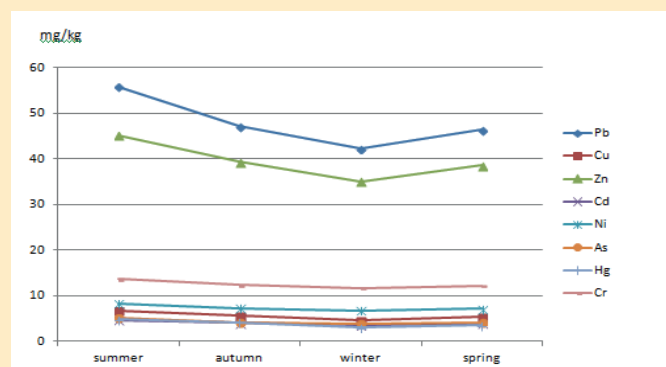
6. Nickel (**Ni**): Nickel can accumulate in the soil near smelting or mining operations. It can be toxic to plants and soil organisms if present in excessive amounts.

7. Chromium (**Cr**): Chromium in its hexavalent form (**Cr<sup>6+</sup>**) is highly toxic, and contamination can lead to soil and water pollution, affecting the ecosystem.

8. Mercury (**Hg**): Mercury can bioaccumulate in the food chain, and its presence in the soil poses long-term environmental and health risks.

In figure 1–2, it can be seen that the pH of the soil near the polymetallic combine's tailings dump ranged from 2.35 to 5.12, and the soil of Kyzylzhol village had a pH value from 3.91 to 5.41. This fact proves a noticeable acidification of the soil of the studied area. This fact can be referred to the influence of wastewater and generated tailings waste during the activities of the polymetallic combine. Reduced pH values may possibly affect the phytodisavailability of some heavy metals and affect the migration and transformation of heavy metals in the soil.

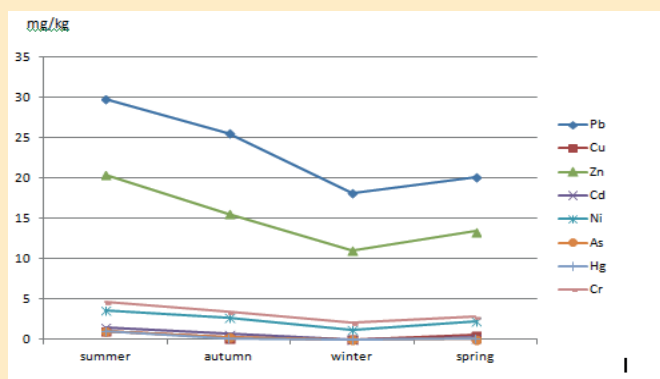
Accumulated solid waste from the tailings dump over the years led to the following indications of certain substances in the soil: the total amount of iron in the tailings dump was much higher than in the soils near the village of Kyzylzhol with a content of 202.8 mg/kg; a certain amount of organic matter (humus) averaged 4.56 mg/kg in the tailings dump, and in the soils near the village was 3.34 mg/kg; in the soils of the tailings dump, the content of the most common heavy metals such as lead **Pb** and copper **Cu** in the soils exceeded the maximum permissible concentration and amounted to 55.9 and 6.8 mg/kg; In addition, the content of zinc **Zn**, cadmium **Cd**, and nickel **Ni** was 45.2, 4.7, and 8.2 mg/kg; the excess of MPC in the soils of the tailings dump was also noticeable in higher concentrations of heavy metals such as arsenic **As**, mercury **Hg**, and chromium **Cr** in amounts of 5.1, 4.8, and 13.7 mg/kg.



**Figure 1. The content of heavy metal ions in the soil near the Kargalinka tailings dam.**

**Сурет 1. Қарғалы қалдық қоймасына жақын топырақтағы ауыр металл иондарының құрамы.**

**Рис. 1. Содержание ионов тяжелых металлов в почве вблизи хвостохранилища Каргалинка.**



**Figure 2. The content of heavy metal ions in the soil near the village of Kyzylzhol.**

**Сурет 2. Қызылжол ауылының маңындағы топырақтағы ауыр металл иондарының құрамы.**

**Рис. 2. Содержание ионов тяжелых металлов в почве вблизи села Кызылжол.**

The excess concentration of heavy metals in soil can be caused by several factors, many of which are related to human activities, industrial processes, and natural phenomena. Mining activities, particularly those involving polymetallic ores, can lead to the release of heavy metals into the environment. When ores are mined, processed, and smelted, heavy metals such as lead (**Pb**), cadmium (**Cd**), zinc (**Zn**), arsenic (**As**), and mercury (**Hg**) are often left behind in the form of tailings, slag, and other byproducts. These metal-rich materials can leach into surrounding soil, water, and air. The disposal of mine tailings, which are often stored in tailings storage facilities (TSFs), can result in the contamination of nearby soil. The heavy metals in tailings can leach into the soil over time, especially if the tailings are not properly managed. When sulfide minerals (e.g., pyrite) in the soil or tailings are exposed to oxygen and water, they can oxidize and form sulfuric acid. This acid can increase the solubility of heavy metals like iron, lead, and cadmium, making them more mobile and leading to contamination of soil and water.

Dumping of industrial waste, including metal-laden byproducts, in landfills or unregulated disposal sites can cause long-term contamination of the surrounding soil. Additionally, emissions from industrial activities can settle onto the ground, contributing to heavy metal contamination.

Excessive concentrations of heavy metals in soil are primarily driven by industrial activities, mining, improper waste disposal, and agricultural practices. Natural processes can also contribute to heavy metal concentrations, but human activities have significantly amplified the risks. Monitoring, regulating industrial practices, and implementing effective waste management strategies are key to minimizing the impact of heavy metals on soil health and the environment.

Remediation of technogenically polluted tailings pond soil, especially contaminated with heavy metals, is a complex but necessary process to restore the environment and prevent further damage to the components of the agroecosystem and human health when assessing environmental quality. Tailings ponds, which are waste left over from mining and metal extraction processes, often contain high concentrations of heavy

metals such as lead (**Pb**), cadmium (**Cd**), arsenic (**As**), mercury (**Hg**), and zinc (**Zn**). These metals can be toxic to plants, animals and humans, which makes the reclamation process extremely important for restoring the ecological balance of the earth and increasing its safety for future use.

Goals of Reclamation:

1) *reducing the bioavailability of toxic metals in the soil to prevent uptake by plants and the food chain;*

2) *restoring soil fertility by improving physical, chemical, and biological properties of the soil;*

3) *preventing further contamination of the surrounding environment (air, water, and soil) due to leaching of metals from the tailings;*

4) *revegetating the area to reduce erosion and dust dispersion, and promote ecosystem restoration;*

5) *key steps in reclamation of polluted soil in tailings dumps.*

Assessment and Monitoring of Contamination: before beginning reclamation, an assessment of contamination levels in the soil and surrounding environment is necessary. This includes measuring the concentration of heavy metals in the soil at various depths, assessing the pH, organic matter content, and soil structure, as well as evaluating the surrounding water and air quality. Mapping the distribution of contamination within the tailings dump helps in planning targeted remediation efforts.

Removal or Containment of Contaminated Materials: excavation and Removal; in some cases, it may be feasible to excavate contaminated soil and remove it to a controlled disposal site or waste management facility.

Containment: where removal is not practical, a containment approach is used to limit the spread of contamination. This can involve creating impermeable barriers, such as caps or liners, to prevent leaching of heavy metals into groundwater and surrounding areas.

Stabilization and Immobilization: stabilizing or immobilizing the metals in place is a common strategy in the reclamation of polluted soils. This can reduce the bioavailability of metals and prevent their migration.

Chemical Stabilization: the addition of amendments such as lime, phosphate compounds, or organic matter can bind heavy metals in the soil, reducing their solubility and making them less available for plant uptake. For example, adding phosphates can convert soluble forms of metals like cadmium and lead into insoluble, less toxic compounds.

Soil Amendments: adding organic matter, such as compost or biochar, can help stabilize the soil, improve its structure, and encourage the formation of stable metal-organic complexes that reduce the mobility of heavy metals.

### Conclusion

In summary, heavy metals have a detrimental impact on soil moisture capacity and density by altering soil structure, disrupting biological activity, and reducing the ability of the soil to retain and supply water to plants. These changes lead to decreased soil fertility, poor plant growth, and reduced ecosystem productivity. Understanding and mitigating these effects are critical for managing contaminated soils and promoting ecosystem restoration.

Reclamation of heavy metal-contaminated soils in tailings dumps is a complex process that requires a combination of physical, chemical, and biological techniques.

Effective reclamation strategies should focus on reducing metal mobility, restoring soil fertility, and promoting ecological recovery. While the process can be challenging and resource-intensive, successful reclamation not only improves soil health and ecosystem stability but also helps protect human health by mitigating the risks of metal exposure through soil, water, and food sources.

### REFERENCES

1. Velasquez E. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. / Velasquez E., Lavelle P. // *Acta Oecologica*. 2019. V. 100. Art. № 103446 (in English)
2. Evangelista S.J. A proposal for the assessment of soil security: Soil functions, soil services and threats to soil. / Evangelista S.J., Field D.J., McBratney A.B., Minasny B., Ng W., Padarian J., Dobarco M.R., Wadoux A.M.J.-C. // *Soil Security*. 2023. V. 10. Art. № 100086 (in English)
3. Imashev A. Research of possible zones of inelastic deformation of rock mass. / Imashev A., Suimbayeva A., Zholmagambetov N., Takhanov D., Abdimutalip N. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2018. V. 2. P. 177–184 (in English)
4. Creamer R.E. The life of soils: Integrating the who and how of multifunctionality. / Creamer, R.E., Barel J.M., Bongiorno G., Zwetsloot M.J. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2022. V. 166. Art. № 108561 (in English)
5. Shafea L. Microplastics effects on wettability, pore sizes and saturated hydraulic conductivity of a loess topsoil. / Shafea L., Felde V.J.M.N.L., Woche S.K., Bachmann J., Peth S. // *Geoderma*. 2023. V. 437. Art. № 116566 (in English)
6. Wagg, C. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. / Wagg C., Bender S.F., Widmer F., van der Heijden M.G.A. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014. Vol. 111 (14). P. 5266–5270 (in English)
7. Lin Y. Adaptation of soil fungi to heavy metal contamination in paddy fields – a case study in eastern China. / Lin Y., Xiao W., Ye Y., Wu C., Hu Y., Shi H. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. V. 27. P. 27819–27830 (in English)
8. Baibotayeva A. Study of the effect of heavy metals on soil cover and methods of their bioremediation control. / Baibotayeva A., Kenzhalieva G., Zhantasov K., Zhantasova M., Kocherov E. // *Series of Geology and Technical Sciences*. 2021. V. 445. P. 52–57 (in English)



9. Wall L. Changes of paradigms in agriculture soil microbiology and new challenges in microbial ecology. / Wall L., Gabbarini L., Ferrari A., Frene J., Covelli J., Reyna D., Robledo N. // *Acta Oecologica*. 2019. V. 95. P. 68–73 (in English)
10. Gonmadje C. Environmental filtering determines patterns of tree species composition in small mountains of Atlantic Central African forests. / Gonmadje C., Dourmenge C., Sunderland T., McKey D. // *Acta Oecologica*. 2019. V. 94. P. 12–21 (in English)
11. Palansooriya K.N. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. / Palansooriya K.N., Shaheen S.M., Chen S.S., Tsang, Daniel C.W., Hashimoto Y., Hou D., Bolan N.S., Rinklebe J., Ok Y.S. // *Environment International*. 2020. V. 134. Art. № 105046 (in English)
12. Tang W. Heavy metal contamination in the surface sediments of representative limnetic ecosystems in Eastern China. / Tang W., Shan B., Zhang H., Zhang W., Zhao Y., Ding Y., Rong N., Zhu X. // *Scientific Reports*. 2014. V. 4. Art. № 7152 (in English)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Веласкес Э. Топырақ макрофаунасы ауыл шаруашылық ландшафттарындағы топыраққа негізделген экожүйелік қызметтерді бағалау көрсеткіші ретінде. / Э. Веласкес, П. Лавель. // *Acta Oecologica*. 2019. Т. 100. Мақ. № 103446 (ағылшын тілінде)
2. Евангелиста С.Дж. Топырақ қауіпсіздігін бағалау ұсынысы: топырақ функциялары, топырақ қызметтері және топырақ қауіптері. / С.Дж. Евангелиста, Д.Дж. Филд, А.Б. МакБратни, Б. Минасны, В. Нг, Х. Падарян, М.Р. Добарко, А.МЖ-К. Ваду. // *Soil Security*. 2023. Т. 10. Мақ. № 100086 (ағылшын тілінде)
3. Имашев А. Тау жотасының серпімді емес деформациясының ықтимал аймақтарын зерттеу. / А. Имашев, А. Сүйімбаева, Н. Жолмағанбетов, Н. Таханов, Н. Әбдімүтәліп. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2018. Т. 2. Б. 177–184 (ағылшын тілінде)
4. Криммер Р.Е. Топырақ өмірі: көпфункционалдылықтың «кім және қалай» интеграциясы. / Р.Е. Криммер, Дж.М. Барел, Г. Бонджорно, М.Дж. Цветслум. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2022. Т. 166. Мақ. № 108561 (ағылшын тілінде)
5. Шафеа Л. Микропластиканың ылғалдылыққа, тері тесігінің мөлшеріне және лесс топырағының жоғарғы қабатының қаныққан гидравликалық өткізгіштігіне әсері. / Шафеа Л., В.Л.М.Н.Л. Фельде, С.К. Вохе, Й. Бахманн, С. Пет. // *Geoderma*. 2023. Т. 437. Мақ. № 116566 (ағылшын тілінде)
6. Вагг К. Топырақтың биоалуантүрлілігі және топырақ қауымдастығының құрамы экожүйенің көп функционалдығын анықтайды. / К. Вагг, Ф. ендер, Ф. Видмер, М.Г.А. ван дер Хейден. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014. Т. 111 (14). Б. 5266–5270 (ағылшын тілінде)
7. Лин Я. Күріш алқаптарында ауыр металдармен ластануға бейімделген топырақ саңырауқұлақтары – Қытайдың шығысындағы зерттеу. / Я. Лин, У. Сяо, Й. Яньмей, В. Цифан, Х. Имин, Ш. Хаокун. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Т. 27. Б. 27819–27830 (ағылшын тілінде)
8. Байботаева А. Ауыр металдардың топырақ қабатына әсерін зерттеу және олардың биоремедиациялық бақылау әдістері. / А. Байботаева, Г. Кенжалиева, Қ. Жантасов, М. Жантасова, Е. Кочеров. // *Геология және техникалық ғылымдар сериясы*. 2021. Т. 445. Б. 52–57 (ағылшын тілінде)
9. Уолл Л. Ауыл шаруашылығындағы топырақ микробиологиясындағы парадигмалардың өзгеруі және микробтық экологиядағы жаңа сын-қатерлер. / Л. Уолл, Л. Габбарини, А. Феррари, Ж. Френе, Дж. Ковелли, Д. Рейна, Н. Робледо. // *Acta Oecologica*. 2019. Т. 95. Б. 68–73 (ағылшын тілінде)
10. Гонмадже К. Атлантикалық Орталық Африка ормандарындағы кішкентай тауларда ағаш түрлерінің құрамының үлгісін экологиялық сұзу анықтайды. / К. Гонмадже, Ч. Дуумене, Т. Сандерленд, Д. МакКей. // *Acta Oecologica*. 2019. Т. 94. Б. 12–21 (ағылшын тілінде)
11. Палансурия К.Н. Ластанған топырақтағы ықтимал улы элементтерді иммобилизациялауға арналған топырақ қоспалары: сыни шолу. / К.Н. Палансурия, С.М. Шахин, С.С. Чен, Цанг, К.В. Даниэль, Ю. Хашимото, Д. Хоу, Н.С. Болан, Дж. Ринкл, Ю.С. Ок. // *Environment International*. 2020. Т. 134. Мақ. № 105046 (ағылшын тілінде)
12. Тан В. Шығыс Қытайдың өкілдік лимнетикалық экожүйелеріндегі ауыр металдардың ластануы. / В. Тан, Б. Шан, Х. Чжан, В. Чжан, Ю. Чжао, Ю. Дин, Н. Ронг, С. Чжу. // *Scientific Reports*. 2014. Т. 4. Мақ. № 7152 (ағылшын тілінде)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Веласкес Э. Почвенная макрофауна как индикатор для оценки экосистемных услуг почвы в сельскохозяйственных ландшафтах. / Э. Веласкес, П. Лавель. // *Acta Oecologica*. 2019. Т. 100. Ст. № 103446 (на английском языке)
2. Евангелиста С.Дж. Рекомендация по оценке безопасности почвы: функции почвы, почвенные услуги и почвенные риски. / С.Дж. Евангелиста, Д.Дж. Филд, А.Б. МакБратни, Б. Минасны, В. Нг, Х. Падарян, М.Р. Добарко, А.МЖ-К. Ваду. // *Soil Security*. 2023. Т. 10. Ст. № 100086 (на английском языке)
3. Имашев А. Исследование возможных зон неупругой деформации горного хребта. / А. Имашев, А. Суймбаева, Н. Жолмағанбетов, Н. Таханов, Н. Абдимуталип. // *News of the National Academy of*

- Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2018. T. 2. C. 177–184 (на английском языке)*
4. Кример Р.Е. Почвенная жизнь: интеграция многофункциональности «кто и как». / Р.Е. Кример, Дж.М. Барел, Г. Бонджорно, М.Дж. Цветслут. // *Soil Biology and Biochemistry. 2022. T. 166. Ст. № 108561 (на английском языке)*
  5. Шафеа Л. Влияние микропластика на влажность, размер пор и насыщенную гидравлическую проницаемость верхнего слоя почвы лесс. / Л. Шафеа, В.Ж.М.Н.Л. Фельде, С.К. Вохе, Й. Бахманн, С. Пет. // *Geoderma. 2023. T. 437. Ст. № 116566 (на английском языке)*
  6. Вагг К. Биоразнообразие почвы и состав почвенного сообщества определяют многофункциональность экосистемы. / К. Вагг, Ф. Бендер, Ф. Видмер, М.Г.А. ван дер Хейден. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2014. T. 111 (14). C. 5266–5270 (на английском языке)*
  7. Лин Я. Адаптация почвенных грибов к загрязнению тяжелыми металлами на рисовых полях – пример из Восточного Китая. / Я. Лин, У. Сяо, Й. Яньмей, В. Цифан, Х. Имин, Ш. Хаокун. // *Environmental Science and Pollution Research. 2020. T. 27. C. 27819–27830 (на английском языке)*
  8. Байботаева А. Исследование влияния тяжелых металлов на почвенный покров и методы их биоремедиационного контроля. / А. Байботаева, Г. Кенжалиева, К. Жантасов, М. Жантасова, Е. Кочеров. // *Серия геологии и технических наук. 2021. T. 445. C. 52–57 (на английском языке)*
  9. Уолл Л. Изменение парадигм в микробиологии почвы в сельском хозяйстве и новые вызовы в микробной экологии. / Л. Уолл, Л. Габбарини, А. Феррари, Ж. Френе, Дж. Ковелли, Д. Рейна, Н. Робледо. // *Acta Oecologica. 2019. T. 95. C. 68–73 (на английском языке)*
  10. Гонмадже К. Экологическая фильтрация определяет закономерности состава видов деревьев в небольших горах Атлантической Центральной Африки. / К. Гонмадже, Ч. Думенж, Т. Сандерленд, Д. Маккей. // *Acta Oecologica. 2019. T. 94. C. 12–21 (на английском языке)*
  11. Палансурия К.Н. Почвенные смеси для иммобилизации потенциально токсичных элементов в загрязненной почве: критический обзор. / К.Н. Палансурия, С.М. Шахин, С.С. Чен, Цанг, К.В. Даниэль, Ю. Хашимото, Д. Хоу, Н.С. Болан, Дж. Ринкл, Ю.С. Ок. // *Environment International. 2020. T. 134. Ст. № 105046 (на английском языке)*
  12. Тан В. Загрязнение тяжелыми металлами в поверхностных отложениях репрезентативных лимнических экосистем Восточного Китая. / В. Тан, Б. Шан, Х. Чжан, В. Чжан, Ю. Чжао, Ю. Дин, Н. Ронг, С. Чжу. // *Scientific Reports. 2014. T. 4. Ст. № 7152 (на английском языке)*

#### Information about the authors:

**Abdraimova K.T.**, Candidate of biological Sciences, Associate Professor Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), [kuralai.abdraimova@ayu.edu.kz](mailto:kuralai.abdraimova@ayu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0002-6390-2111>

**Toychibekova G.B.**, Doctor of Ph.D, Associate Professor Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), [gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz](mailto:gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0003-3575-3021>

**Shalabaeva G.S.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), [gulshat.shalabaeva@ayu.edu.kz](mailto:gulshat.shalabaeva@ayu.edu.kz); <https://orcid.org/0000-0003-3605-4708>

**Seitmetova A.M.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), [aiman.seitmetova@ayu.edu.kz](mailto:aiman.seitmetova@ayu.edu.kz); <https://orsid.org/0000-0002-5321-9730>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Абдраимова К.Т.**, биология ғылымдарының кандидаты, доцент м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

**Тойчибекова Г.Б.**, Ph.D, доцент м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

**Сейтметова А.М.**, биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

**Шалабаева Г.С.**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Абдраимова К.Т.**, канд. биол. наук, и.о. доцента, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

**Тойчибекова Г.Б.**, Ph.D, и.о. доцента, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

**Сейтметова А.М.**, кандидат биологических наук, доцент, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

**Шалабаева Г.С.**, канд. техн. наук, и.о. доцента, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

## ДАУКЕЕВ СЕРИКБЕК ЖУСУПБЕКОВИЧ (к 75-летию со дня рождения)

*Министр геологии и охраны недр (1993-1996)  
Министр экологии и природных ресурсов (1996-1998)  
Министр природных ресурсов и охраны окружающей  
среды (1998-2000)*

*Аким Атырауской области (2000-2002)  
Президент Национальной Академии Наук (2002-2004)  
Лауреат премии имени К. Сатпаева «Отличник раз-  
ведки недр СССР» (1987); Первооткрыватель место-  
рождения газа Амагельды*

17 февраля исполняется 75 лет Серикбеку Жусупбековичу Даукееву – одному из ярких и талантливых инженеров и организаторов геологической отрасли и горно-металлургического комплекса нашей страны.

Начав свою трудовую деятельность в должности инженера-геофизика полевой партии Илийской геофизической экспедиции (ИГЭ), он, благодаря своему трудолюбию, багажу знаний и организаторскому дару, одолевал ступени служебной лестницы как специалист, в котором нуждались более сложные производственная обстановка и объем задач.

Работа в составе ИГЭ ознаменовалась знаменательным событием, значимость которого мы, казахстанцы, оценили только в конце прошлого столетия, когда на базе открытого в годы службы Серикбека Жусупбековича в качестве главного геофизика экспедиции Амангельдинского месторождения природного газа была обеспечена газификация практически всей южной и юго-восточной части нашего государства.

Следующие его назначения в 1983 г. начальником Алматинской опытно-методической экспедиции, в 1987 г. – главным геофизиком ПГО «Казгеофизика», в 1988 г. – начальником Алматинской геофизической экспедиции сопровождалась практической реализацией давно ожидаемых самых современных технологий производства. Методика обработки статистической геофизической информации на ЭВМ, только получавших распространение в мировых масштабах, интерпретация ее геологической сущности для оценки содержимого недр были для своего времени революционным научно-техническим прорывом, одним из авторов которого стал наш юбиляр.

Одновременно в совокупности с отмеченной компьютеризацией управления геофизическими технологиями были освоены впервые в СССР экологически чистые вибрационные сейсмические комплексы, экономически эффективно, более производительнее и безопаснее, со значительно повышенной точностью оценки заменившие в специфических условиях буровзрывные работы.

В 42 года Серикбек Жусупбекович был приглашен на должность первого заместителя Министра геологии Республики Казахстан. Наступившие тяжелые времена, связанные с резким снижением объемов финансирования в связи с катастрофическим уменьшением экономических

объемов производства и бюджетных возможностей, могли разрушить в первую очередь кадровый состав Министерства, и, естественно, обеспеченность промышленности запасами металлических и химических полезных ископаемых, всего комплекса углеводородного сырья. В этой обстановке назначение Даукеева С.Ж. Министром геологии и охраны недр было прозорливым решением.

Наиболее сложный период деятельности геологической отрасли был пройден под флагом реформирования всей системы недропользования и реорганизации геологоразведочной отрасли с одновременным сохранением и упрочнением ее работоспособности.

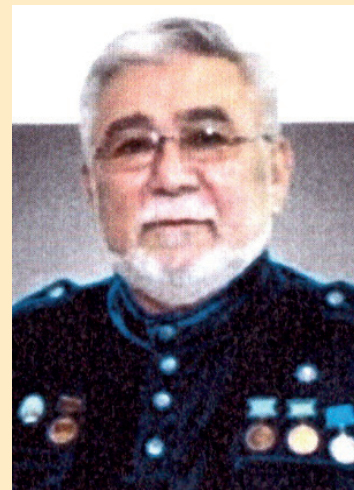
Выполненная в 1994 г. под руководством Серикбека Жусупбековича созданной им командой профессиональных геологов и горняков Инвестиционная Программа стимулирования геологического обслуживания освоения недр утверждена Правительством и сыграла главную роль в становлении геологоразведочных работ на современном уровне, создавшем условия привлечения финансовых ресурсов.

Серикбек Жусупбекович внес большой вклад в разработку законодательных и нормативных актов Республики Казахстан по недропользованию, принимал активное участие в разработке Закона о недрах и Закона о нефти, являющихся на сегодня самыми прогрессивными среди аналогичных документов стран СНГ.

Во-вторых, в срочном порядке под его руководством была подготовлена информационная база по всем полезным ископаемым Казахстана, что позволило привлечь беспрецедентное количество инвестиций в минерально-сырьевой сектор Казахстана, представляющий собой базовую основу для развития экономики страны.

В-третьих, практически с нуля пришлось налаживать вхождение геологоразведки на работу в новых экономических условиях. Даукеев С.Ж. разработал авторскую концепцию перехода к рыночной экономике в сфере недропользования, утвержденную в 1994 году Правительством Республики Казахстан, и принял самое активное участие в становлении суверенитета Казахстана. Для казахстанских геологов это было время не только простого изучения особенностей действия принципов рыночной экономики, но и активного участия в ее применении.

В такой перегруженной производственными заботами должности Министра геологии, неоднократно менявшего





свое формальное название, Даукеев С.Ж. проработал до конца прошлого века. Наряду с реализацией своих природных организационных способностей Даукеев С.Ж. в этот сложный период не забывал и о научной работе. Очередной этап его профессионального роста завершился подготовкой крупной работы по анализу состояния минерально-сырьевой базы Республики Казахстан и перспективам ее расширения и использования. По своему содержанию она соответствовала требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, и в 1997 году Даукееву С.Ж. была присвоена ученая степень доктора геолого-минералогических наук.

Опыт ученого, производственника и руководителя обеспечили ему успех в работе в должности Аким Атырауской области. Крупномасштабное строительство, в том числе разработка и реализация дренажной системы города, осуществленное под руководством Серикбека Жусупбековича, изменило вид города Атырау, придав его облику черты современности и комфорта.

Практическая реорганизация геологической отрасли остро нуждалась в создании научных фундаментальных и прикладных направлений, которые могли быть реализованы только с непосредственным участием и руководством самого автора, поэтому наш юбиляр с 2002 г. возвращается к своей первоначальной стезе обеспечения экономики Родины минерально-сырьевой базой. С 2002 г. он одновременно и Президент Национальной Академии наук, и директор института геологических наук им. К.И. Сатпаева. Это совмещение было сплавом науки во всем своем многообразии с коренными жизненно важными заботами экономического развития страны, и он был создан в годы активной деятельности Даукеева С.Ж. до 2007 г. в этой области.

С 2007 года Даукеев С.Ж. возвращается на производственную работу. Сначала он возглавлял Совет директоров АО «Казнефтехим», а в 2013 году был избран независимым директором АО «Казгеология». Одновременно он возглавлял «Общество геофизиков Казахстана».

В последние годы С.Ж. Даукеев наряду с выполнением своих общественных нагрузок в Советах геологов и геофизиков, является председателем Совета директоров Алматинского университета энергетики и связи.

Его организаторские способности, творческий об-раз мышления и умение оценивать производственную обстановку, учитывая не только геологическое наполне-

ние недр, но и проблемы их освоения, особенно эффективно проявились в период его деятельности в качестве эксперта руководства ТОО «Корпорация «Казахмыс» в период с 2014 г. по 2019 г. и члена Совета директоров АО «Казахалтын». Выполненные им совместно с Битимбаевым М.Ж. по заданию руководства этих компаний и по личной инициативе 18 ТЭР по предприятиям Корпорации и 8 ТЭР по Казахстану были с высокой оценкой приняты для исполнения как безопасные, технологически осуществимые и экономически эффективные.

Серикбек Жусупбекович – автор более 150 научных работ, в том числе 7 монографий, соавтор книг «Континентальные впадины Центральной и Восточной Азии» (1988 г.), «Методика и технология вибросейсмических работ с элементами высокого размещения» (1989 г.), «Экономика и управление геологоразведочным производством» (1999 г.), «Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана» в 3 томах (2002 г.). Он автор и разработчик «Концепции регулирования и управления системой недропользования в условиях рыночной экономики» (1994 г.), Атласа карт «Минеральные ресурсы Казахстана» (1996 г.), руководил авторскими коллективами более 20 справочников по полезным ископаемым.

Даукеев С.Ж. избран действительным членом 5 национальных и международных Академий, в составе которых продолжает целеустремленно трудиться, являясь, как всегда, примером для окружающих.

Он награжден специальным золотым знаком Президента Республики Казахстан «Золотой Барс», орденами «Парасат», «Курмет», медалями «За трудовую доблесть», «Астана», серебряной медалью ВДНХ СССР, знаками «Отличник разведки недр СССР», «Почетный разведчик недр РК».

В юбилейный год Серикбек Жусупбекович полон сил, энергии и творческих мыслей, которые он намерен использовать для подъема экономических возможностей горно-металлургической отрасли нашей Родины – Республики Казахстан.

*Горная и геологическая общественность страны и редакционная коллегия «Горного журнала Казахстана» поздравляет уважаемого Серикбека Жусупбековича с 75-летием, желает ему здоровья и новых трудовых свершений на благо нашего народа, благополучия и счастья его семье.*

## ИВАН НИКИТОВИЧ СТОЛПОВСКИХ (к 85-летию со дня рождения)

31 января исполнилось 85 лет Ивану Никитовичу Столповских – доктору технических наук, профессору-исследователю кафедры «Технологические машины и оборудование» Института Энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева, Казахского национального технического исследовательского университета им. К.И. Сатпаева, академику Каз НАЕН и МАИН.

И.Н. Столповских родился в России и после службы в Советской армии в 1962 году поступил на горный факультет Казахского политехнического института им. В.И. Ленина.

После окончания обучения в 1967 г. по распределению был направлен на Белоусовский подземный рудник Иртышского полиметаллического комбината Восточно-Казахстанской области, где прошел путь от электрослесаря, начальника смены до электромеханика подземного транспорта.

В 1971 г. Иван Никитович поступил в очную аспирантуру при кафедре «Транспортные и горные машины» (ТиГМ) КазПТИ им. В.И. Ленина под научным руководством доктора технических наук, профессора А.Д. Спицына.

После завершения обучения в аспирантуре был распределен на работу в качестве научного сотрудника научно-исследовательской части на кафедру ТиГМ. В период с 1974 по 1981 гг. прошел путь от младшего научного сотрудника до ведущего научного сотрудника НИЧ, ассистента, преподавателя, старшего преподавателя. С 1978 г. по 1984 г. работал в деканате горного факультета заместителем декана по воспитательной работе.

В 1982 г. И.Н. Столповских защитил кандидатскую диссертацию в Ленинградском горном институте им. Плеханова по специальности 050506 – «Горные машины». С 1982 г. по 1995 г. Иван Никитович работал на кафедре ТиГМ в качестве доцента и являлся научным руководителем хозяйственных тем.

Выполненные исследования позволили ему создать и внедрить в проектную практику систему автоматизированного проектирования электровозного транспорта подземных рудников с использованием современных средств ПЭВМ во всех ведущих проектных организациях стран СНГ.

В 1995 г. И.Н. Столповских был избран по конкурсу заведующим кафедрой «Транспортные и горные машины» КазНТУ им. К.И. Сатпаева. В этот период (1995-2001 гг.) большое внимание им было уделено обновлению методической обеспеченности учебного процесса, организации всех видов практик по новой специальности 1905 – «Горные машины и оборудование». В 2004 г. им была защищена докторская диссертация.

С 2004 по 2008 гг. он работал профессором кафедры «Транспортные и горные машины». В сентябре 2007 г. по



2010 г. заведовал кафедрой ТиГМ КазНТУ им. К.И. Сатпаева. С сентября 2011 г. по настоящее время И.Н. Столповских является профессором-исследователем кафедры «Технологические машины и оборудование» и ведущим научным сотрудником темы грантового финансирования «Разработка цифрового метода мониторинга дефектов и характеристик внутрикарьерных технологических дорог при открытой разработке месторождений полезных ископаемых».

Иван Никитович – известный специалист в области проектирования и эксплуатации горных машин, совершенствования подземного электровозного транспорта. Его исследования «Автоматизированная система проектирования электровозного транспорта на подземных рудниках», «Разработка рациональных параметров контактного электровоза сцепной массой 5 т», «Установление параметров электровозного транспорта Сарыджазского ГОК в условиях высокогорья» и другие широко известны в Казахстане и за рубежом.

Он – автор свыше 150 научных трудов, в том числе монографий, трех учебных пособий, горно-геологического справочника по разработке рудных месторождений. Под его руководством защищены две кандидатские диссертации, подготовлены шесть докторов философии (Ph.D), 18 магистров.

*Горная общественность Казахстана, кафедра «Технологические машины и оборудование» Института Энергетики и машиностроения КазНТУ им. К.И. Сатпаева, редколлегия «Горного журнала Казахстана», друзья и коллеги поздравляют Ивана Никитовича со знаменательной датой и желают юбилару отличного здоровья, долгих лет жизни, успехов в работе, благополучия и счастья.*

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте *minmag.kz*).

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

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

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

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?pl=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
  - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «\*» указывается автор-корреспондент;
  - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
  - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
  - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
  - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
  - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
  - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

**РИСУНКИ** должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

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

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте *minmag.kz*.

### 4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.