

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 28.06.2022 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,  
тел.: +7 (747) 440-46-35  
+7 (747) 343-15-02  
[minmag.kz](http://minmag.kz)

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

**Представители журнала:**

**Центрально-Казахстанский регион –**  
**ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ ДЕМИН**  
[vladfdemin@mail.ru](mailto:vladfdemin@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 «Эврика-Пресс»,**  
**ТОО «Агентство «Евразия пресс»**

Подписано в печать **25.11.2022 г.**

**Отпечатано:**

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

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



**INTERRIN**

**Главный редактор**

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

**Заместитель гл. редактора**

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

**Заместитель гл. редактора**

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

**Ответственный редактор**

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

**Специалист по связям с общественностью**

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

**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

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

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

**А.А. Бекботаева**, PhD

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

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

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

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

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

**А.И. Едильбаев**, д-р техн. наук

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

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

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

**Д.Г. Масягин**

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

**В.С. Музгина**, д-р техн. наук

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

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

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

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

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

**П.Г. Тамбиев**, канд. техн. наук

**Ш.Н. Туробов**, PhD

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

**Р.А. Хамидов** (Узбекистан), PhD

**Р.Р. Ходжаев**, д-р техн. наук

**П.А. Цеховой**

**Т.А. Чепуштанова**, PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3** Колонка главного редактора
- 4** Как собственный исследовательский центр может увеличить эффективность производства.  
Пример «Казцинк» ®
- 6** Преимущества высокоэффективных смазочных материалов ADDINOL ®
- 8** Работа без выгорания: решения компании MKS  
Геотехнология
- 10** \*Работұлы М., Мусин Р.А., Кенетаева А.А., Балниязова Г.М.  
Разработка технологии строительства скважины для снижения внезапных выбросов угольных пластов Карагандинского бассейна
- 16** \*Zhalbyrov Zh.D., Zamaliyev N.M., Valiev N.G., Zhanseitov A.T.  
Improvement of cyclic-flow technology for deposits with low ore content and high productivity  
Гидрогеология
- 22** \*Сапаргалиев Д.С., Муртазин Е.Ж., Смоляр В.А., Нурпеисов Р.А.  
Перспективы освоения пресных подземных вод меловых отложений Жемского артезианского бассейна в Актюбинской области  
Маркшейдерское дело
- 31** Рысбеков К.Б., Нурпеисова М.Б., \*Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М.  
Геодинамический и геотехнический мониторинг состояния горного массива при разработке месторождений полезных ископаемых  
Крепление горных выработок
- 37** Байкенжин М.А., \*Асанова Ж.М., Абдибаитов Ш.А.  
Совершенствование несущей способности арочной рамой крепи  
Металлургия
- 42** \*Серикканов А.С., Жолдыбаев К.С., Кантарбаева Д.О., Мукашев Б.Н.  
Метод шлакового рафинирования для очистки металлургического кремния  
Горные машины
- 47** Isametova M.E., \*Abilezova G.S., Akhmedov Kh.A.  
Computer simulation of liquid kinematics in a centrifugal pump and verification of calculation results with experimental data  
Геоэкология
- 55** \*Муратханов Д.Б., Рахимов Т.А., Рахметов И.К.  
Прогноз предотвращения негативных антропогенных нагрузок в Прибалхашье с помощью математического моделирования  
Памяти ученого
- 62** Израиль Самойлович Коган (1927-2022)
- 63** Вячеслав Васильевич Беднов (1938-2022)
- 64** Требования к оформлению статей

## КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат  
Жакупович  
Битимбаев**  
*главный редактор*

*Дорогие читатели!*

*Уважаемые коллеги!*

В ноябрьском номере журнала хочется отметить несколько событий, которые остаются в нашей памяти. Самое важное и главное событие, знаковое для жизни всей нашей страны, которое определяет наше будущее и придает нам уверенности в повседневных делах, – это внеочередные выборы Президента Республики Казахстан.

С радостью отмечаем победу Касым-Жомарта Кемелевича Токаева и считаем, что его программы создания «Нового Казахстана» и «Справедливого Казахстана» нашли положительный отклик в сердцах всех граждан. Поздравляя со страниц журнала Президента с победой, мы искренне желаем ему успехов во всех начинаниях, надеемся и будем активными участниками свершений в социальной и экономической жизни нашей страны.

Казахстану есть, чем гордиться, есть, к чему стремиться, есть, на кого опереться!

Впереди – создание новых предприятий в индустрии и сельском хозяйстве, решение вопросов XXI века по образованию, воспитанию молодого поколения, по здоровому образу жизни и медицинской помощи. Они решаемы, если мы будем едины, и запросы народа будут слышать, видеть и откликаться на них своевременно и результативно властные структуры.

В ноябре горная общественность отмечает 110-летие выдающегося казахстанского ученого и одновременно производственника, организатора науки академика Омирхана Аймагамбетовича Байконурова. Его имя стоит в одном ряду с другими инженерами и учеными, которые на заре советской власти и до конца своей яркой жизни ковали непрестанно мощь нашего горно-металлургического комплекса. Их имена должны оставаться в нашей памяти не только как пример служения Родине и народу, но и как ориентир для новых поколений специалистов в своей трудовой биографии.

*Будем достойны наших предшественников!*

*Будем служить честно и добросовестно Новому Казахстану!*



### Решения ME Elecmetal в области измельчения Инновационные решения - доказанная эффективность

ME Elecmetal обладает всеми необходимыми знаниями, опытом и производственными возможностями, чтобы помочь вам оснастить свое предприятие надежными, системными и инновационными решениями в области измельчения и дробления.

Инновационные решения для футеровки МПСИ, МСИ, шаровых и стержневых мельниц

- Сталь
- Резина
- Композиты

Мелющие тела премиум-класса из ковanej стали для МПСИ, шаровых и стержневых мельниц

- ME Super SAG®: 4,0" to 6,25"
- ME Ultra Grind®: 1,5" to 4,0"
- ME Ultra Grind®II: 2,0" to 4,0"
- ME Performa®: 7/8" to 1,

Изнашиваемые компоненты для дробилок первичного, вторичного и третичного дробления

- Гирационные дробилки
- Щековые дробилки
- Конусные дробилки

**Наши контакты:**

**ME Elecmetal**

Тел: +7 914 880 4545

+7 777 247 0787

+1 778 875 7525

Эл.Почта: [russia@meglobal.com](mailto:russia@meglobal.com)

[www.me-elecmetal.com](http://www.me-elecmetal.com)





## КАК СОБСТВЕННЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР МОЖЕТ УВЕЛИЧИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. ПРИМЕР «КАЗЦИНКА»

*По результатам работы за 2021-2022 годы Исследовательский центр Усть-Каменогорского металлургического комплекса «Казцинк» был признан одним из лучших подразделений в компании.*

Сейчас в его коллективе трудится 28 человек. Подразделение состоит из трех лабораторий: группы пирометаллургии свинца, цинка, меди; гидрометаллургии свинца, цинка, меди, редких, благородных металлов и экологических проблем. Дополнительно в центре функционируют химико-аналитическая и патентно-лицензионная группы, а в штате команды есть аналитик. Здесь занимаются прикладными поисковыми научными исследованиями в области металлургических процессов, то есть разработкой новых технологий и их внедрением, оптимизацией производства, а также курированием, обследованием, мониторингом и анализом действующих технологий.

В прошлом году одно из Управлений «Казцинк» инициировало проект по созданию технологии гидрометаллургической переработки богатых цинковых шлаков. А сотрудники Центра провели исследования по разным вариантам выщелачивания. По их результатам в дальнейшем можно будет извлекать цинк даже из отвальных продуктов.

Здесь также проводят испытания для внедрения проекта «Новейшая металлургия». К ним относятся плавка цинковых кеков, смеси медных концентратов в Айза-печи медного завода и получение марочной товарной продукции – катодной сурьмы из материалов цеха рафинирования свинца свинцового завода. По результатам исследований по первому направлению удалось определить сдерживающие факторы для стабильной работы Айза-печи. Благодаря этому, технология переработки цинковых кеков обязательно будет совершенствоваться. По второму направлению специалисты изучили технологии получения

металлической и черновой сурьмы гидрометаллургическим и пирометаллургическим способами. Подобрали оптимальные режимы для выщелачивания, определили составы электролита. В результате получили катодную марочную сурьму из промышленного продукта напрямую, без предварительной очистки.

Для обогатительного подразделения «Казцинк» – ГОК «Алтай» – команда центра подобрала оптимальное соотношение пылей для загрузки в электродуговые печи. Это позволило получать цинковый концентрат подходящего качества для конкретного потребителя.

Еще одно внедрение – разработка технологической схемы получения медного купороса из медьсодержащих продуктов для нужд другой обогатительной фабрики «Казцинк» – Жайремского ГОК. Специалисты определили оптимальные технологические параметры переработки и получили медный купорос, соответствующий маркам «А» и «Б».

В этом году был получен принципиально новый товарный продукт с потенциальной возможностью его дальнейшей реализации – сплав мышьяка и меди, благодаря чему должна существенно снизиться нагрузка по примесям на медный завод. Такой результат позволит перерабатывать еще более сложные концентраты, а также уменьшать затраты на хранение мышьяксодержащих отходов.

Исследовательский центр внедрил и множество собственных предложений. В химико-аналитической группе разработана методика определения ионов кобальта, мышьяка и сурьмы колориметрическим методом в сухих пробах и жидких продуктах. Усовершенствована методика определения ионов ртути.



Материалы предоставлены Управлением по связям с общественностью ТОО «Казцинк»

Т

Тимченкодан  
МаркетингМаркетингтік  
нигилизм  
агенттігі+7 705 818 40-65  
communication@stimchenko.com  
www.stimchenko.kz

# Держим курс!



Маркетинг для  
производственных  
компаний

**Мы помогаем:**

- Сформировать позитивный образ компании
- Привлечь новых клиентов
- Обойти конкурентов
- Выйти на новые рынки
- Продавать

Стратегия | Дизайн | Репутация | Отраслевые выставки | Работа со СМИ

## ПРЕИМУЩЕСТВА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ADDINOL

*Крупнейшие в мире роторные ковшовые экскаваторы, машины, производящие 750 метров полимерной пленки в минуту, гигантские грузовые автомобили, а также обычные автомобили и автобусы – всех их объединяет нечто общее – они работают на смазочных материалах ADDINOL!*

Смазочные материалы ADDINOL производятся в Германии. Это свидетельствует о высоком качестве, эффективности, точности и надежности наших продуктов.

ADDINOL Lube Oil GmbH – одно из немногих независимых от крупных концернов предприятий в нефтеперерабатывающей промышленности Германии. Работая с дистрибьюторами в более чем 90 странах мира, мы представлены на всех континентах.

Наши высокоэффективные смазочные материалы – важные конструктивные элементы различной техники. Эти материалы созданы в тесном сотрудничестве с ведущими мировыми производителями оборудования. При их разработке применяются самые современные технологии, наш многолетний опыт, а также учитываются требования наших клиентов, что обеспечивает существенные преимущества в долгосрочной перспективе! И эти преимущества весьма весомые!

Высокоэффективные смазочные материалы ADDINOL отличаются необычайно продолжительным сроком службы, защищают от износа и продлевают сроки эксплуатации смазываемых компонентов. Кроме того, они являются действенными инструментами экономии энергии и повышения эффективности использования оборудования. Таким образом они способствуют экономному использованию ресурсов и снижению производственных расходов!

С нашими высокоэффективными смазочными материалами мы предлагаем оптимальные решения даже для самых сложных задач в области смазки.

Доказанные преимущества нашей продукции, великолепная техническая поддержка, понимание интересов клиентов и приверженность своему делу являются отличительным признаком компании ADDINOL.

**Добро пожаловать в мир ADDINOL!**

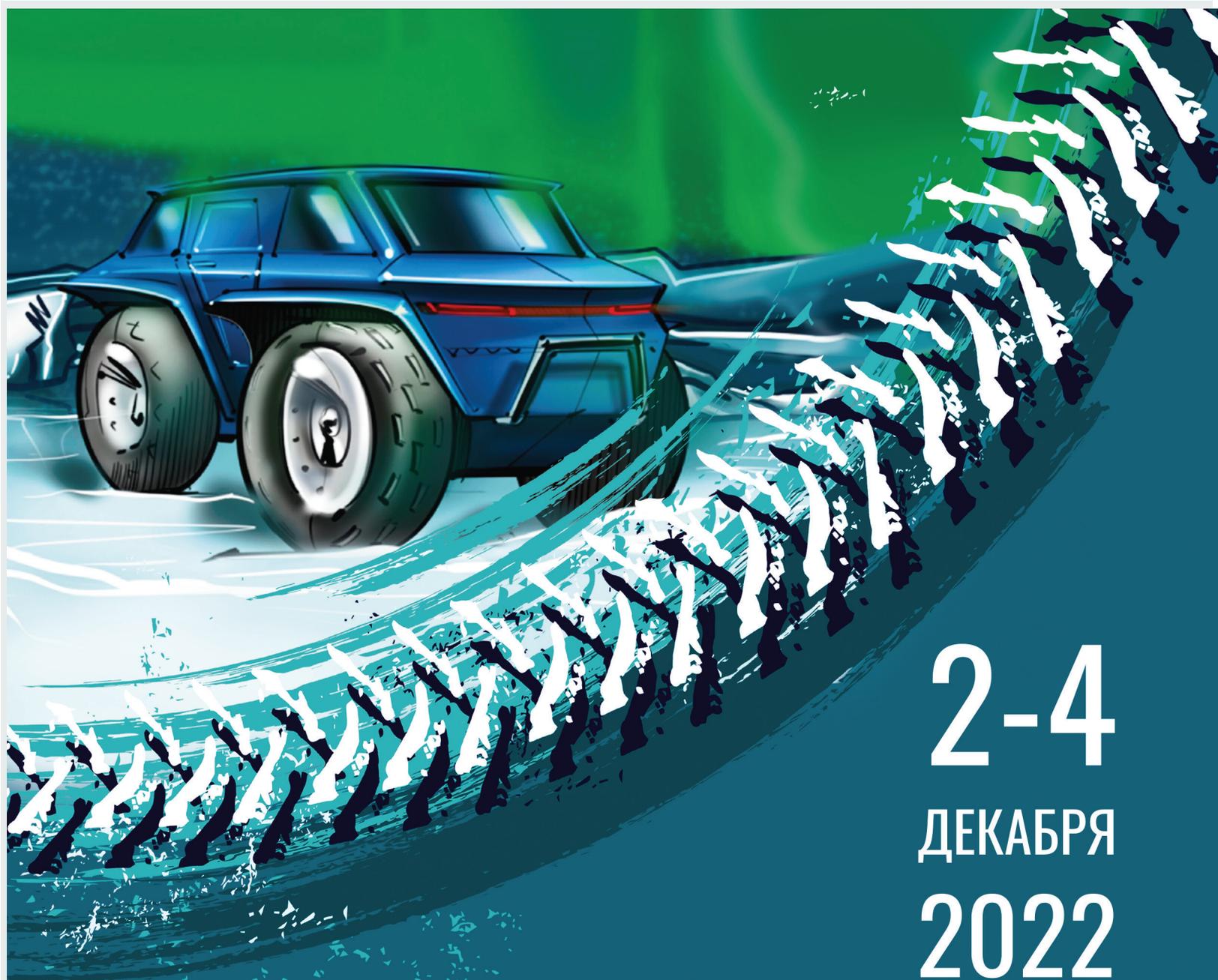


**ADDINOL**  
THE ART OF OIL • SINCE 1936

ADDINOL CENTER  
Казахстан, г. Уральск,  
Ул. Придорожная, 88

Тел.: 8 7112 311 -311;  
+ 7 777 1761483  
addinol\_zhol@mail.ru  
addinol.kz





2-4  
ДЕКАБРЯ  
2022

ВЫСТАВКА  
ВЕЗДЕХОДНОЙ  
ТЕХНИКИ

ЦВК  
ЭКСПОЦЕНТР



## РАБОТА БЕЗ ВЫГОРАНИЯ: РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ MKS

*Рынок Центральной Азии становится местом притяжения компаний-производителей различных отраслей промышленности. «Бум» интереса пришелся на вторую половину 2022 года и продолжает набирать обороты. Это обусловлено, с одной стороны, интенсивно развивающейся экономикой и обширным потребительским рынком, а с другой – геополитическими процессами. В ближайшее пятилетие промышленность Центральной Азии ждет большая трансформация, благодаря притоку новых инвестиций, технологий и подходов. Но можно ли говорить, что интерес глобальных производителей возник только сейчас?*

*О немецком качестве и азиатском гостеприимстве, проверенных временем подходах и новых технологиях, просто о сложном и важном генеральному директору промышленного агентства Marketing from Timchenko Светлане Тимченко рассказал генеральный директор MKS GmbH Александр Креккер.*

– Александр, расскажите об основных этапах становления компании и том, когда вы пришли в Центральную Азию?

– Наша история берет свое начало с компании «ВЕА» в 1917 году. Тогда предприятие специализировалось на производстве не только жидкостных реостатных пускателей, но и конвейеров, экскаваторов и оборудования для горно-перерабатывающей промышленности. Последовательное развитие, передовые для того времени технологии и европейская педантичность заложили крепкую основу для того, чтобы «ВЕА» оставался одним из крупнейших игроков на индустриальном рынке.

В 2001 году Бектас Кусдоган – многолетний сотрудник и руководитель отдела жидкостных реостатных пускателей – основал собственную компанию MKS в Дюссельдорфе. MKS GmbH сразу взяла курс на разворачивание производственных мощностей и выпуске большего количества оборудования. Уже в 2003 году было принято решение о переносе главного офиса в город Юлих и открытии новых производственных цехов, чтобы закрывать все потребности индустриального рынка Европы и стран СНГ. В частности, нам всегда была интересна именно Центральная Азия.

– А с чего начинался ваш путь в MKS?

– Я пришел в MKS в 2006 году как инженер по пусконаладочным работам и прошел весь путь до генерального директора и единственного владельца компании.

С самого начала я ставил перед собой высокие планки, искал новые способы решения вопросов, возможности для развития и масштабирования компании. За 15 лет под моим руководством было реализовано более 200 проектов по всему миру.



– Какую роль ваше оборудование играет на производстве?

– Во время работы на производственной площадке сила тока имеет ключевое значение. Она должна регулироваться, и от правильности выбора количества ампер зависит качество, скорость работы и возможность ее выполнения в определенных условиях. Если у оборудования нет собственных средств для регулировки силы тока или их недостаточно, задействуют реостат.

Жидкостный реостатный пускатель – это ни что иное, как элемент управления в электрических цепях. Благодаря ему можно добиться снижения скачков электрического тока и динамических перегрузок, способных как повредить подключенное к нему оборудование, так и полностью вывести его из строя.

Жидкостные реостаты нашей компании практически незаменимы и применяются в горнодобывающем секторе, машиностроении, электроэнергетике, а также на предприятиях, работающих в области добычи и переработки нефти и газа.

MKS реализовала проекты с крупнейшими компаниями по всему миру, в числе которых METSO MINERALS, UNITED CEMENT COMPANY, ABB, HAZEMAG & EPR, SIEMENS, WEG и другие производители с мировым именем. Среди заказчиков в Средней Азии – «АГМК», «KAZZINC», «Алтыналмас».

– В чем секрет такого успеха?

– Основа успеха нашей компании – стабильное качество и постоянное совершенствование выпускаемой продукции. Сборка каждого жидкостного реостатно-пускателя производится в Германии. Мы работаем

**В 2022 году компания установила  
производственный рекорд, выпустив  
140 единиц оборудования.**



исключительно с европейскими поставщиками, которые могут необходимыми сертификатами подтвердить соответствие своих компонентов требованиям и нормам стандартов. В среднем срок эксплуатации нашей продукции от 25-40 лет, и чаще всего не нуждается в сервисе.

Мы – сторонники индивидуального подхода. Каждый проект начинается с предложения, соответствующего пожеланиям заказчика. Далее мы составляем план его реализации, вносим коррективы и предлагаем продукцию, которая полностью отвечает задачам наших клиентов. Недавно мы разработали уникальное решение под ключевые требования металлургической компании «ArcelorMittal». Проект длился почти год, но нам удалось учесть все пожелания и удовлетворить потребности нашего заказчика.

Каждые два года наши специалисты проводят встречи с инженерами крупнейших компаний, чтобы понять, проанализировать, а иногда и предвосхитить потребности наших клиентов и заложить фундамент для долгосрочного сотрудничества.

И последнее, но не менее важное преимущество – оперативность поставок. На нашем складе всегда есть как готовые решения, так и компоненты для обслуживания нашего оборудования. А благодаря развитой дилерской сети, у нас есть возможность в кратчайшие сроки доставить продукцию нашим заказчикам по всему миру.

**– Какие планы вы строите на 2023 год?**

– Все свое детство и юношество я провел в Казахстане и считаю его не только своей родиной, но и перспективным, быстрорастущим регионом с высокой конкурентной средой. Поэтому особенно важно, в первую очередь, укрепить свои позиции и оставить за собой лидерство. Для этого мы расширяем свою дилерскую сеть, работаем над повышением не только качества продукта, но и сервиса.

И, самый важный шаг, который мы планируем сделать уже в 2023 году – открытие филиалов компании в регионе. Это позволит объединить все прежние достижения и продолжить свой путь и развитие здесь.



**Компания MKS была аккредитована  
на соответствие стандарту  
ISO 9001:2015 и ГОСТ-Р.**



Код МРНТИ 52.35.35

М. Рабатұлы\*, Р.А. Мусин, А.А. Кенетаева, Г.М. Балниязова

*Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»  
(г. Караганда, Казахстан)*

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИНЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КАРАГАНДИНСКОГО БАССЕЙНА

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема извлечения метана из угольных пластов со значительной природной газоносностью и разрешение этой проблемы путем разработки технологических решений по бурению наклонно-направленных скважин. Разработан и запатентован способ извлечения метана угольных пластов Карагандинского угольного бассейна, включающий направленное бурение скважин с поверхности по продуктивному угольному пласту, основанный на том, что верхний интервал скважины имеет вертикальный профиль, а нижний – с отклонением ствола скважины от вертикали по простиранию угольного пласта, параллельно напластованию. Результаты исследований могут использоваться при подсчетах запасов ресурсов газа метана при определении места заложения скважин. Разработанный способ извлечения метана угольных пластов позволит снизить природную газоносность угольных пластов и повысить производительность горных работ при добыче угля.

**Ключевые слова:** угольные пласты, метанобезопасность, извлечение метана, бурение скважин, наклонно-направленные скважины, газоотдача, гидроразрыв пласта, дегазация, природная газоносность.

**Қарағанды бассейніндегі көмір қабаттарының кенеттен атқылауын азайту үшін ұңғымаларды салу технологиясын әзірлеу**

**Аңдатпа.** Мақалада айтарлықтай табиғи газдылығы бар көмір қабаттарынан метан алу мәселесі және көлбеу бағытталған ұңғымаларды бұрғылаудың технологиялық шешімдерін жасау арқылы осы мәселені шешу қарастырылған. Қарағанды көмір бассейнінің көмір қабаттарының метанын алу тәсілі әзірленді және патенттелді, ол ұңғымаларды жер бетінен өнімді көмір қабаты бойынша бағытталған бұрғылауды қамтиды, бұл ұңғыманың жоғарғы аралығының тік профилі бар, ал төменгі бөлігі ұңғыманың оқпанының көмір қабатының жайылуы бойынша тігінен ауытқуымен қабаттасуға параллель. Зерттеу нәтижелері метан газы ресурстарының қорларын есептеу кезінде, ұңғымалардың орналасу орнын анықтау кезінде пайдаланылуы мүмкін. Көмір қабаттарының метанын алудың әзірленген тәсілі көмір қабаттарының табиғи газдылығын төмендетуге және көмір өндіру кезінде тау-кен жұмыстарының өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** көмір қабаттары, метан қауіпсіздігі, метан алу, ұңғымаларды бұрғылау, көлбеу бағытталған ұңғымалар, газ бөліну, қабатты гидравликалық жару, газсыздандыру, табиғи газдылық.

### Development of technology to reduce sudden emissions in the coal seams of the Karaganda basin

**Abstract.** The article considers the problem of extracting methane from coal seams with significant natural gas content and solving this problem by developing technological solutions for drilling directional wells. A method for extracting methane from coal seams of the Karaganda coal basin has been developed and patented, including directional drilling of wells from the surface along a productive coal seam, based on the fact that the upper interval of the well has a vertical profile, and the lower one with a deviation of the borehole from the vertical along the stretch of the coal seam, parallel to the stratification. The results of the research can be used in calculating reserves of methane gas resources, in determining the location of wells. The developed method of extracting coalbed methane will reduce the natural gas content of coal seams and increase the productivity of mining operations during coal mining.

**Key words:** coal seams, methane safety, methane extraction, well drilling, directional wells, gas recovery, hydraulic fracturing, degassing, natural gas content.

### Введение

Вопрос обеспечения безопасных условий труда на угольных предприятиях Казахстана и других стран СНГ в последнее время приобретает все более острый характер. Интенсивная отработка угольных пластов сопровождается обильными метановыделениями в горные выработки, о чем свидетельствуют крупные несчастные случаи, произошедшие в последние годы на шахтах Казахстана и в государствах постсоветского пространства [1].

Улучшение безопасных условий труда и повышение эффективности производительности угольных предприятий является актуальной задачей во всех угледобывающих государствах при разработке пластов со значительной природной газоносностью.

### Методы исследования

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта, литературных и фондовых материалов, результатов лабораторных и экспериментальных наблюдений, современных методов компьютерного моделирования обоснованы проектные решения по разработке участка и произведены расчеты конструкций наклонно-направленных скважин.

Практически все государства исследуют недра земли в поисках все новых и новых запасов полезного ископаемого. В современном мире даже небольшое месторождение какого-либо сырья может сыграть важную роль для развития региона.

В последнее время стремительное развитие получило направление освоения нетрадиционных источников углеводородов, которые относятся к «возобновляемым» и

способны закрыть потребность в природном газе целого региона. Газ метан относится к «нетрадиционным» источникам углеводородов, поскольку находится либо в сорбированном состоянии, либо залегаёт в структуре пласта и для его добычи недостаточно просто пробурить скважину с поверхности. Также к «нетрадиционным» относятся газ из песчаников, газогидраты, метан угольных пластов и сланцевый газ. Важным фактором при добыче метана угольных пластов является проницаемость горных пород, глубина пластов, отсутствие геологических нарушений и т. д. Ведущими странами по добыче метана угольных пластов являются Китай, США, Канада, Индия, Австралия. Некоторые государства выделяют огромные деньги на гранты по развитию метаноугольной

промышленности, поскольку видят в нем существенную перспективу [2].

Оценка высокой перспективности промышленной добычи метана в Казахстане основана на сравнении его геолого-промысловых характеристик с бассейном Сан-Хуан в США, прогнозных ТЭП, а также наличии инфраструктуры и потребителей газа, находящихся на расстоянии всего 15-150 км от первоочередных площадей.

Исследуя выполненные ранее работы по извлечению метана угольных пластов Карагандинского угольного бассейна НИР было принято проводить на участке Талдыкудук. В геологическом строении Талдыкудукского участка принимают участие осадочные отложения каменноугольного, юрского, неогенового и четвертичного периодов. Каменноугольные отложения подразделяются на Ашлярикскую, Карагандинскую и Надкарагандинскую свиты (рис. 1).

Талдыкудукский участок расположен на южном крыле Карагандинской синклинали, где больше всего проявились тангенциальные движения герцинского тектогенеза. Он состоит из сложной структуры с интенсивной, пликативной и дизъюнктивной тектоникой. Наиболее ярко пликативная нарушенность выразилась в центральной части участка (Талдыкудукская мульда), где возникли три крупные синклинальные складки субширотного простирания, разделенные антиклинальными перегибами того же направления. Восточное и западное крылья синклинали отличаются моноклинальным залеганием пород, осложненных разрывной тектоникой. Перечисленные нарушения сопровождаются сетью еще более мелких нарушений, образующих большие зоны дроблений, что обеспечивает наибольший поток метана при его извлечении из пластов рассматриваемой площади [3].

Талдыкудукский участок можно отнести в разряд главных по перспективности извлечения метана [4]:

- угленосность достигает 9,5%, общая мощность угольных пластов

около 60 м, наибольшей мощности достигает пласт  $K_{12}$  (до 12,4 м), практически 19-20 из 23-25 пластов превышают по мощности 0,7 м;

- на участке большое количество разрывных нарушений и складчатых структур с амплитудами до 400 м;

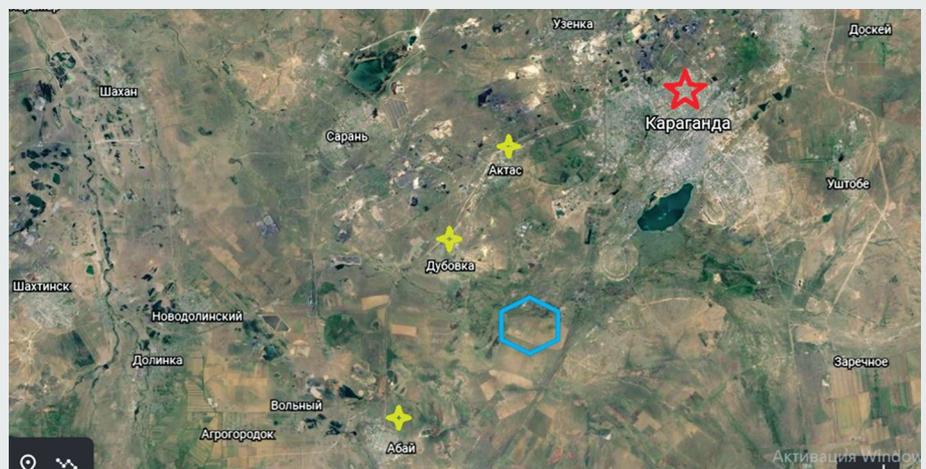
- по степени метаморфизма марки углей от КЖ до ОС предполагают высокую сорбционную и газогенерирующую способность угля, высокое содержание витринита (40-91%) в углях предопределяет интенсивную трещиноватость и газопроницаемость углей;

- газоносность угля до 26 м<sup>3</sup>/т, площадная плотность ресурсов метана – до 780 млн м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> – одна из самых высоких в бассейне.

Согласно нынешним представлениям, угольный пласт является малопроницаемой блочно-трещиноватой средой с большой анизотропией свойств, причем 80-90% угольного метана находится в сорбированном состоянии. Механизм извлечения газа из низкопроницаемых угольных пластов существенно отличается от механизма извлечения газа при эксплуатации традиционных газовых месторождений. Задача извлечения метана из неразгруженных угольных пластов по существу является проблемой управления

сорбционными процессами в системе «уголь – метан – жидкость» [4, 5].

Для решения этой задачи используется способ дегазации угольных пластов, включающий в себя направленное бурение скважин с поверхности по угольному пласту, обработку пласта рабочей жидкостью в режиме гидрорасчленения, закрепление трещин расчленения песком. Извлечение газа на поверхность отличается тем, что бурение скважины осуществляется по специальным профилям, где верхний интервал скважины имеет вертикальный или субвертикальный профиль, а нижний – с отклонением ствола скважины от вертикали по простиранию продуктивного угольного пласта параллельно напластованию, причем на продуктивный угольный пласт. Увеличение газоотдачи по всей длине скважины достигается при помощи гидрорасчленения пласта; освоение скважины с откачкой рабочей жидкости гидрорасчленения и газа производят через вертикальную скважину, предварительно пробуренную с поверхности на продуктивный пласт, забой которой совмещен с наклонно-направленной полостью, образованной в результате расширения стенок скважины с целью увеличения площади контакта<sup>1</sup> (рис. 2).



**Рис. 1. Ситуационный план Талдыкудукского участка Карагандинского угольного бассейна.**

**Сурет 1. Қарағанды көмір бассейнінің Талдықудық учаскесінің учаскесінің жоспары.**

**Figure 1. Situation plan of the Taldykuduk section of the Karaganda coal basin.**

<sup>1</sup>Филимонов Е.С., Портнов В.С., Кенетаева А.А., Рабатулы М. Извлечение метана из угольных пластов для обеспечения безопасного проведения горных работ в угольных шахтах Карагандинского бассейна: монография. – Караганда: КарТУ, 2022. – 145 с.

Реализация представляемого способа интенсификации газоотдачи для извлечения метана из угольных пластов осуществляется в следующей последовательности.

При бурении под направление применяется вращательный способ с промывкой полимерным буровым раствором. По завершении буровых работ устанавливается обсадная колонна 1. По завершении спуска колонны (направления) затрубное пространство тампонируется цементным раствором.

Бурение под кондуктором также ведется вращательным способом с промывкой полимерным буровым раствором. По окончании бурения данного интервала предусматривается установка кондуктора 2; стальными обсадными трубами с целью охраны недр и сохранения водоносных горизонтов кондуктор цементируется до устья.

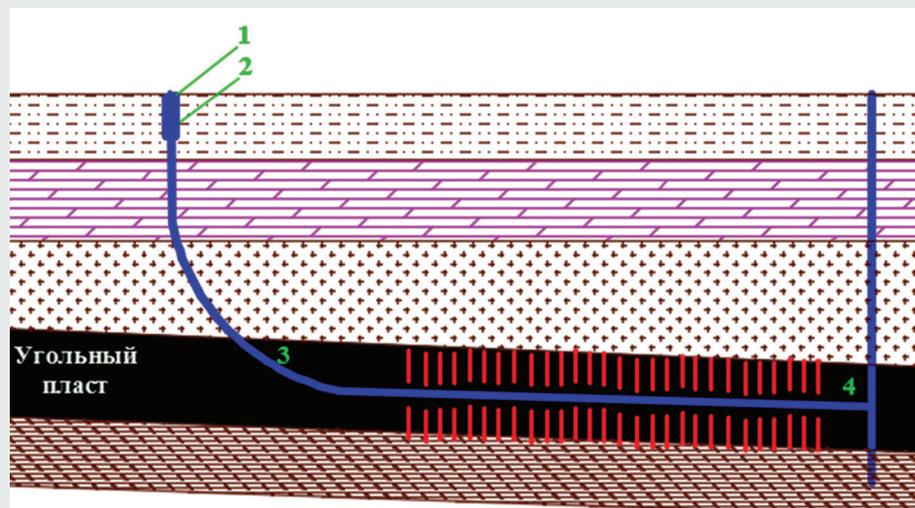
Для бурения по угольному пласту необходимо войти в угольный пласт под углом залегания угольного пласта 3. Набор угла будет производиться с помощью винтового забойного двигателя<sup>2</sup>.

Для набора угла выставляется необходимый угол перегиба на забойном двигателе, после этого собирается необходимая компоновка бурового инструмента для наклонно-направленного бурения с отцентровкой верхней части забойного двигателя с верхней частью оборудования телеметрии, чтобы отслеживать угол поворота двигателя. После этого буровой инструмент опускается до забоя при медленном вращении, снимается замер положения координат долота в забое с помощью оборудования телеметрии. Затем вращением бурового инструмента поворачивают направление забойного двигателя в сторону необходимого азимута. Далее под давлением подается буровой раствор с помощью шламового насоса, что приводит во вращение долото на забойном двигателе. В это время буровой инструмент не должен вращаться, чтобы не нарушить выставленное направление по азимуту.

За счет угла перегиба на забойном двигателе под давлением веса бурового инструмента профиль скважины начнет медленно искривляться в сторону необходимого азимута<sup>3</sup> [6].

При бурении по угольному пласту необходимо постепенно уменьшать количество химических

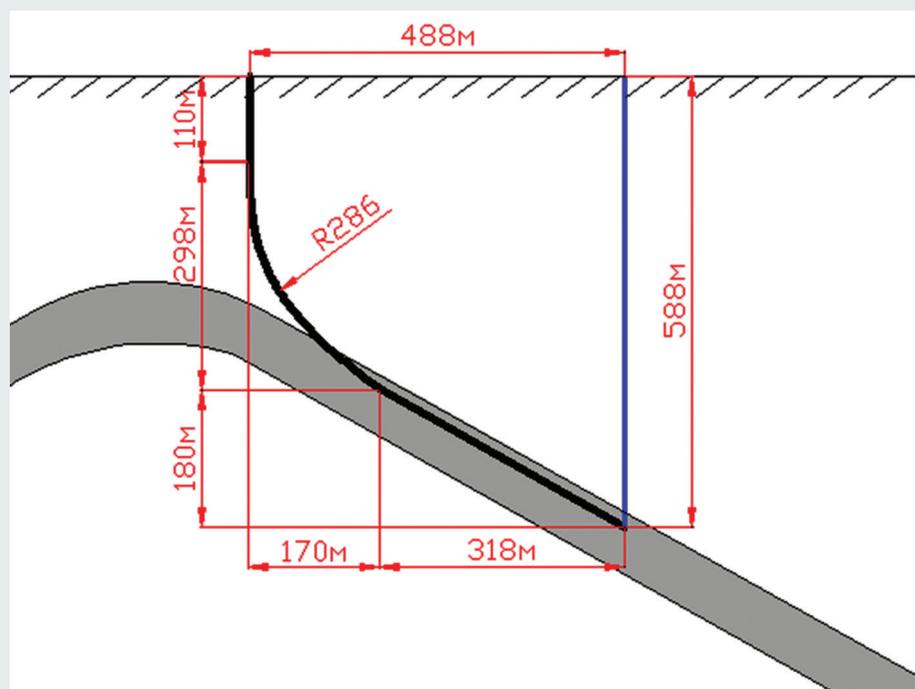
реагентов в буровом растворе, постепенно переходя на воду, для того, чтобы предотвратить кольматирование пор угля в стволе скважины. После окончания бурения необходимо проработать скважину и подготовить ее к спуску эксплуатационной колонны.



**Рис. 2. Разработанная технология добычи метана из угольных пластов Карагандинского угольного бассейна.**

**Сурет 2. Қарағанды көмір бассейнінің көмір қабаттарынан метан алудың әзірленген технологиясы.**

**Figure 2. The developed technology for the extraction of methane from coal seams of the Karaganda coal basin.**



**Рис. 3. Схема профиля наклонно-направленной скважины.**

**Сурет 3. Бағытталған ұңғыма профилінің сұлбасы.**

**Figure 3. Scheme of the profile of a directional well.**

<sup>2</sup>Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 2001. – 674 с.

<sup>3</sup>Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М., 1967. – 352 с.

Для стимулирования газоотдачи на продуктивный угольный пласт производится воздействие методом многостадийного поинтервального гидроразрыва (длина интервала 120-130 м) через перфорированные отверстия, а освоение скважины с откачкой рабочей жидкости гидроразрыва и газа производят через вертикальную скважину [7].

На рис. 3 предложена схема профиля бурения скважин для извлечения метана угольных пластов.

### Результаты исследования

В результате горно-геологических исследований для испытания технологии бурения наклонно-направленной скважины для извлечения метана угольных пластов был выбран перспективный участок Карагандинского угольного бассейна. С целью определения геологических условий залегания угольного пласта  $K_{12}$ , а также наличия метана и воды в пласте, разработана конструкция профиля наклонно-направленной скважины. В соответствии с горно-геологическими условиями Талдыкудукского участка была выбрана конструкция экспериментальной наклонно-направленной скважины для извлечения метана по угольному пласту  $K_{12}$  со следующими параметрами: направление – 10 м, кондуктор – 80 м, эксплуатационная колонна – 840 м.

### Обсуждение результатов

Основными геологическими и технологическими задачами являются обнаружение высокопродуктивных зон в угольных бассейнах и разработка технических решений по строительству, заканчиванию и освоению скважин, обеспечивающих максимальные дебиты газа.

Во-первых, как и для традиционных месторождений углеводородного сырья, основным требованием является получение промышленных притоков метана и высоких коэффициентов его извлечения из угольных пластов. Извлечение метана является высокотехнологичным производством, а коммерческие дебиты метаноугольных скважин достигаются при выполнении ряда условий:

- выявлении в пределах угольных бассейнов перспективных продуктивных зон и участков на основе результатов геологических и геофизических исследований;
- применении эффективных технологий бурения и заканчивания скважин, их освоении с использованием способов интенсификации притока флюидов из угольных пластов к стволу скважины.

Во-вторых, для обеспечения рентабельного притока при относительно малых дебитах, характерных для горно-геологических условий угольных бассейнов, затраты на строительство

и эксплуатацию метаноугольных скважин должны быть минимальными. Оптимальные удельные затраты на извлечение метана достигаются за счет небольших глубин строительства скважин – менее 1200 м.

В-третьих, важным требованием для организации коммерческого извлечения метана в угольных бассейнах является близость платежеспособных рынков сбыта. Метан угольных пластов, который становится конкурентоспособным по отношению к природному газу при значительном сокращении расстояния от скважин до потребителя и, соответственно, резком снижении транспортных расходов [8].

### Заключение

На экспериментальной наклонно-направленной скважине планируется применение технологии бурения с помощью винтового забойного двигателя с использованием телеметрии:

- бурение направления долотом Ø393 мм роторно-вращательным способом бурения с промывкой до глубины 10 м;
- бурение кондуктора долотом Ø311 мм роторно-вращательным способом бурения с промывкой до глубины 110 м;
- бурение с набором угла с помощью винтового забойного двигателя до 66° в интервале глубин 110-4408 м;
- бурение долотом Ø 215,9 мм по угольному пласту  $K_{12}$  длиной 364 м.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кабанов Е.И., Коршунов Г.И., Корнев А.В., Мяков В.В. Анализ причин взрывов, вспышек и возгораний метана на угольных шахтах России в 2005-2019 гг. // ГИАБ. – 2021. – №2-1. – С. 18-29 (на русском языке)
2. Drizhd N.A., Musin R.A., Alexandrov A.Yu. Совершенствование технологии гидроудара на основе учета ранее обработанных скважин. // Международная научно-техническая конференция «Науки о Земле»: Конференция ИОР. Серия: Науки о Земле и окружающей среде. – 2019. – Вып. 272. – С. 022031 (8 с.) (на английском языке)
3. Дрижд Н.А., Рабатұлы М., Александров А.Ю., Бальниязова Г., Жунис Г. Результаты освоения опытных скважин на Шерубайнуринском участке Карагандинского угольного бассейна. // Уголь. – 2020. – №6. – С. 36-40 (на русском языке)
4. Rabatuly M., Musin R.A., Demin V.F., Usupraev Sh.E., Kenetaeva A.A. Повышение эффективности извлечения метана из угольных пластов. // Комплексное использование минерального сырья. – 2022. – №324(1). – С. 5-11 (на английском языке)
5. Буслев В.Ф., Кейн С.А., Нор А.В. Оценка ресурсов нетрадиционных углеводородов и технологий их разработки. // Материалы 4-й межрегиональной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». – Воркута – Сыктывкар – Ухта. – 2006. – С. 12-14 (на русском языке)

6. Chen L., Wang E., Ou J. и др. Опасности и факторы выброса угля и газа на угольном пласте №В-1, Хэнань, Китай. // Журнал наук о Земле. – 2018. – №22. – С. 171-182 (на английском языке)
7. Plaksin M.S., Rodin R.I. Повышение эффективности дегазации за счет импульсной закачки воды в угольный пласт. // Конференция ИОР. Серия: Науки о Земле и окружающей среде. – 2019. – №377. – С. 012052 (7 с.) (на английском языке)
8. Zou G., Zhang Q., Peng S., Jin C., Che Y. Влияние геологических факторов на проницаемость угля в угольной шахте Сихэ. // Международный журнал угольной науки и технологий. – 2022. – Т. 9. – С. 6 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кабанов Е.И., Коршунов Г.И., Корнев А.В., Мяков В.В. 2005-2019 жылдардағы Ресейдің көмір шахталарында метанның жарылыстары, өрттері мен өрттерінің себептерін талдау. // Тау-кен ақпаратты және аналитикалық бюллетень. – 2021. – №2-1. – Б. 18-29 (орыс тілінде)
2. Drizhd N.A., Musin R.A., Alexandrov A.Yu. Бұрын тазартылған ұңғымаларды есепке алу негізінде су балғасының технологиясын жетілдіру. // «Жер туралы ғылымдар» халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы: ИОР конференциясы. Серия: Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар. – 2019. – Шығ. 272. – Б. 022031 (8 б.) (ағылшын тілінде)
3. Дрижд Н.А., Рабатұлы М., Александров А.Ю., Балниязова Г., Жунис Г. Қараганды көмір бассейнінің Шерубайнура учаскесінде тәжірибелік ұңғымаларды игеру нәтижелері. // Көмір. – 2020. – №6. – Б. 36-40 (орыс тілінде)
4. Rabatuly M., Musin R.A., Demin V.F., Usupaev Sh.E., Kenetaeva A.A. Көмір қабаттарынан метан алу тиімділігін арттыру. // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. – 2022. – №324(1). – Б. 5-11. (ағылшын тілінде)
5. Буслаев В.Ф., Кейн С.А., Нор А.В. Көмірсутектердің дәстүрлі емес ресурстарын және оларды игеру технологияларын бағалау. // «Солтүстіктің минералдық ресурстарын игеру: проблемалары мен шешімдері» атты 4-ші аймақаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары. – Воркута – Сыктывкар – Ухта. – 2006. – Б. 12-14 (орыс тілінде)
6. Chen L., Wang E., Ou J. и др. Опасности и факторы выброса угля и газа на угольном пласте №В-1, Хэнань, Китай. // Журнал наук о Земле. – 2018. – №22. – С. 171-182 (ағылшын тілінде)
7. Plaksin M.S., Rodin R.I. Көмір қабатына суды импульстік айдау есебінен газсыздандыру тиімділігін арттыру. // ИОР конференциясы. Топтама: Жер және қоршаған орта туралы ғылымдар. – 2019. – №377. – Б. 012052 (7 б.) (ағылшын тілінде)
8. Zou G., Zhang Q., Peng S., Jin C., Che Y. Сихэ көмір кенішіндегі көмірдің өткізгіштігіне геологиялық факторлардың әсері. // Көмір ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы. – 2022. – Т. 9. – Б. 6 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Kornev A.V., Myakov V.V. Analiz prichin vzryvov, vspyshek i vosplamenenij metana v ugol'nyx shaxtax rossii v 2005-2019 gg. [Analysis of the causes of explosions, flares and ignitions of methane in coal mines of Russia in 2005-2019]. // GIAB = Mining informational and analytical bulletin. – 2021. – №2-1. – P. 18-29 (in Russian)
2. Drizhd N.A., Mussin R.A., Alexandrov A. Ju. Improving the technology of hydraulic impact based on accounting previously treated wells. // International science and technology conference «Earth science»: IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272. – P. 022031 (8 p.) (in English)
3. Drizhd, N.A., Rabatuly, M., Aleksandrov, A.Yu., Balniyazova, G., Zhunis, G. Rezul'taty osvoeniya opytно-promyshlennyx skvazhin na Sherubajnurinskom uchastke Karagandinskogo ugol'nogo bassejna [Results of development of pilot wells at the Sherubainurinsky site of the Karaganda coal basin]. // Ugol' = Coal. – 2020. – №6. – P. 36-40 (in Russian)
4. Rabatuly M., Musin R.A., Demin V.F., Usupaev Sh.E., Kenetaeva A.A. Improving the efficiency of methane extraction from coal seams. // Complex Use of Mineral Resources. – 2022. – №324(1). – P. 5-11 (in English)

5. Буслаев В.Ф., Кейн С.А., Ноп А.В. *Ocenka resursov netradicionnykh istochnikov uglevodorodov i texnologii ix razrabotki [Assessment of resources of unconventional hydrocarbon sources and technologies of their development]. // Materialy 4-j mezhhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii «Osvoenie mineral'nykh resursov Severa: problemy i resheniya» = Proceedings of the 4th interregional scientific and practical conference «Development of mineral resources of the North: problems and solutions». – Vorkuta – Syktyvkar – Ukhta. – 2006. – P. 12-14 (in Russian)*
6. Chen L., Wang E., Ou J. et al. *Coal and gas outburst hazards and factors of the №B-1 coalbed, Henan, China. // Geosciences Journal. – 2018. – №22. – P. 171-182 (in English)*
7. Plaksin M.S., Rodin R.I. *Improvement of degasification efficiency by pulsed injection of water in coal seam. // International science and technology conference «Earth science»: IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – №377. – P. 012052 (7 p.) (in English)*
8. Zou G., Zhang Q., Peng S., Jin C., Che Y. *Influence of geological factors on coal permeability in the Sihe coal mine. International Journal of Coal Science and Technology. – 2022. – Vol. 9. – P. 6 (in English)*

**Сведения об авторах:**

**Рабатұлы М.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [mukhammedrakhym@mail.ru](mailto:mukhammedrakhym@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7558-128X>

**Мусин Р.А.**, PhD, и.о. доцента «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [r.a.mussin@mail.ru](mailto:r.a.mussin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

**Кенетаева А.А.**, магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [aigul\\_tate@bk.ru](mailto:aigul_tate@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7943-3279>

**Балниязова Г.М.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [balniyazova1983@mail.ru](mailto:balniyazova1983@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9617-9572>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Рабатұлы М.**, PhD, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өңдеу» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Мусин Р.А.**, PhD, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Пайдалы қазбалар кен орындарын өңдеу» кафедрасының доцент м. а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Кенетаева А.А.**, техника ғылымдарының магистрі, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын геологиясы және барлау» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Балниязова Г.М.**, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өңдеу» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Rabatuly M.**, PhD, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Musin R.A.**, PhD, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Kenetayeva A.A.**, Master of Technical Sciences, Lecturer at the Department «Geology and Exploration of Mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Balniyazova G.M.**, Master of Technical Sciences, Doctoral Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.15

\*Zh.D. Zhalbyrov<sup>1</sup>, N.M. Zamaliyev<sup>1</sup>, N.G. Valiev<sup>2</sup>, A.T. Zhanseitov<sup>3</sup><sup>1</sup>Non-Commercial Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan),<sup>2</sup>Ural State Mining University (Yekaterinburg, Russia),<sup>3</sup>Academy of Public Administration under the President of Republic of Kazakhstan (Karaganda, Kazakhstan)

## IMPROVEMENT OF CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY FOR DEPOSITS WITH LOW ORE CONTENT AND HIGH PRODUCTIVITY

**Abstract.** The cyclic-flow technology for low-grade deposits is one of the most important components of the industry. In this article the authors analyzed, how improvements in cyclic-flow technologies can be facilitated to meet the required performance and performance expectations in an unpredictable future. It is a mechanism that ensures progress in the right direction in terms of reducing mining costs and significant achievements in environmental management. The traditional three approaches are the exact type of crushing plant, the optimal mining and handling equipment, and the well conveyor. The new fully mobile crushing system is a great improvement over the original three options, which can ultimately ensure the necessary improvements in the cyclic-flow technology for low-grade and high-productivity deposits. Which in turn gives significant growth in regarding the economic context. Many companies strive to find effective technology for increasing income.

**Key words:** cyclo-flow technology, low-grade deposits, technology improvement, crushing plant, productivity, environment, cost reduction, production.

### Кен мөлшері төмен және өнімділігі жоғары кен орындары үшін ағындық циклды технологияны жетілдіру

**Андатпа.** Төмен сортты шөгінділерге арналған циклдiк ағын технологиясы саланың маңызды құрамдас бөлiктерiнiң бiрi болып табылады. Бұл мақалада авторлар болжанбайтын болашақта қажеттi өнiмдiлiк пен күтелiтiн нәтижелерге қол жеткiзу үшiн циклдiк ағынды технологияларды жақсартуға қалай үлес қосуға болатынын талдады. Бұл тау-кен шығындарын азайту және қоршаған ортаны басқарудағы маңызды жетiстiктер тұрғысынан дұрыс бағытта iлгерiлеудi қамтамасыз ететiн механизм. Дәстүрлi үш тәсiл қолданыста, олар: ұнтақтау қондырғысының нақты түрi, оңтайлы тау-кен жабдықтары және ұңғыма конвейерi. Жаңа толық жылжымалы ұсақтау қондырғысы бастапқы үш нұсқадан айтарлықтай жақсарту болып табылады, бұл сайып келгенде төмен сортты және жоғары өнiмдi кен орындары үшiн циклдiк ұнтақтау технологиясында қажеттi жақсартуларды қамтамасыз ете алады. Бұл өз кезегiнде экономикалық контекстке қатысты айтарлықтай өсiм бередi. Көптеген компаниялар кiрiстi арттырудың тиiмдi технологиясын табуға тырысады.

**Түйiндi сөздер:** ағындық цикл технологиясы, төмен сортты кен орындары, технологияны жетiлдiру, ұсақтау қондырғысы, өнiмдiлiк, қоршаған орта, шығындарды азайту, өндiру.

### Усовершенствование циклично-поточной технологии для месторождений с низким содержанием руды и высокой производительностью

**Аннотация.** Циклично-поточная технология для бедных месторождений является одним из важнейших компонентов. В статье проанализированы способы совершенствования циклично-поточной технологии для достижения требуемой производительности, снижения затрат на добычу полезных ископаемых, а также обеспечения охраны окружающей среды. Традиционно используются три составляющие: точный тип дробильной установки, оптимальное горно-погрузочное оборудование и скважинный конвейер. Новая мобильная дробильная установка является значительным улучшением по сравнению с первоначальными вариантами, что, в конечном итоге, может обеспечить необходимые усовершенствования в технологии циклического измельчения для низкосортных и высокопродуктивных месторождений. Это, в свою очередь, даст значительный экономический рост.

**Ключевые слова:** циклично-поточная технология, низкосортные месторождения, усовершенствование технологии, дробильная установка, производительность, окружающая среда, снижение затрат, добыча.

### Introduction

The mining industry is structured so that drilling and blasting operations have become some of the most important components in recent years. The volumes of exploding rocks have been growing continuously, thus increasing the demand for technologies that can accelerate the mining processes, adhere to the cost considerations and facilitate environmental management in the best ways possible. Cyclic-flow technology for deposits characterized by low ore content and high productivity has emerged as one of the ideal ways of addressing various concerns in the mining processes and the industry at large. In this context, the emphasis is on analyzing how improvements can be facilitated in cyclic technologies to meet the required performance and efficiency expectations moving into the unforeseeable future.

### Background Analysis

The use of cyclic-flow technology schemes characterized by mobile crushing and reloading complexes in the context of open cast mining has been in practice in recent years. A comprehensive analysis of the cyclic-flow technology schemes comprising the mobile crushing schemes and reloading complexes that have continued being used in open cast mining indicates various aspects of the radical improvement associated with it. These include the creation, development, and implementation

of the new mining transport equipment facilitated by the quarry's technological schemes [1].

Such aspects entail the mobile excavators crushing and the transshipment plants on top of the conveyor systems. Technological schemes for the development of rocks facilitated by the end arrangement of the mobile complexes that use the single bucket excavator and conveyor transport have been facilitated [2, 3]. They are continuously enhanced by the utilization of mobile complexes and the increased width linked to the working platform in the wake of transportation.

There is also the presence of the mobile interstage loading crane that is equipped with sequential mining at three horizons. It is a situation that has paved the way for the methodology linked to determining the working time and the aspect of the annual productivity associated with mobile crushing and handling conveyor complexes [4]. The understanding in that regard is that in the context of the open-pit mining associated with the mineral deposits of uniform strength and diverse aspects of the contents, it becomes instrumental in relying on the use of the technological frameworks that adhere to the needs of performance and efficiency at any given moment.

### Current Alternatives

At the moment, it is documented that there are three distinct frameworks of cyclic-flow technology for deposits characterized by low ore content and high productivity.

They differ in terms of the types of machinery and installations used. Moreover, some differences are linked to their location in the face based on the utilization aspects.

**The First Option**

The option is associated with the installation of the mobile crusher in the face, as depicted in figure 1 [5], where the rock has to be loaded into the crusher by the excavator operating via the hopper feeder that functions as an integral part of the whole system. The crushed ore downhole conveyor has to be moved directly to the intermediate or the main conveyor. It can be noted that the notable weakness associated with this approach is that there has to be a focus on fencing the conveyors on the lower sides during the blasting and the systemic movements.

**Second Option**

The approach focuses on installing the mobile conveyor-reloader between the downhole conveyor and the mobile crusher, as captured in figure 2 [5]. It will be realized that the mineral ore is usually loaded into the crusher by using the excavator via the hopper feeder. The mineral ore from the crushing plant is eventually transferred to the mobile conveyor-reloader before it is further taken to the downhole conveyor [6]. The understanding in that regard is that the stated technology allows the mining professionals to reduce the movements of the downhole conveyor in a move that ensures that they are placed at a great distance away from the bottom.

**Third Option**

The whole approach is usually based on using mobile crushers located at the working site, as captured in figure 3 [5]. The understanding is that the single-bucket wheel loaders undertake coordinated activities that include extraction, loading, and delivery of the mineral ore mass to the crusher.

It is an approach in which the movement of the crusher and that of the conveyor are established as being less frequent than in the case of the first and second approaches. Moreover, the distance associated with the delivery of the ore from the bottom using the single-bucket loader becomes instrumental in determining the movement steps.

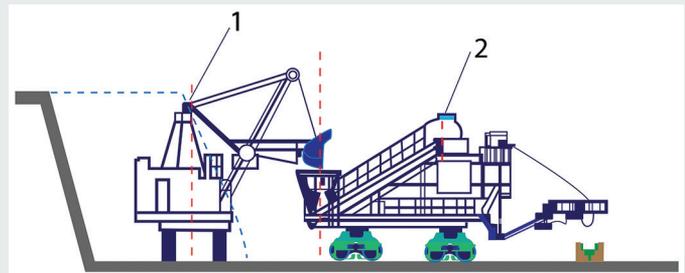
Analysis of the scientific literature based on the studies undertaken by [7] it is stipulated that the emphasis is laid on the presentation of the basic methods associated with the development of the deposits by using the mobile crushing complexes. The implication is that moving forward, there is the need to focus on establishing an efficient technological scheme for such endeavors. Moreover, the effectiveness and rationality of using the cyclic-flow technological schemes that rely on the mobile crushing-reloading-conveyor complexes (MCRCC) have to be based on specific mining and geological conditions.

Similarly, whenever the mining experts and management teams determine that the use of mobile crushing complexes has to be considered, it becomes necessary to predict the efficiency linked to the mining endeavors. Moreover, it also becomes essential to consider the reliability of the equipment complex and the exceedingly necessary aspect of the environmental effects of such comprehensive and technologically enhanced mining processes<sup>1</sup>. The implication

in that regard is that whenever the decision-makers pronounce themselves on the way forward concerning the use of the cyclic-flow technologies that are based on the mobile crushing complexes, [8] point out that it is incumbent upon them to work in a manner that will ensure the scientific substantiation and systematization of the mining schemes.

**Methodological Framework**

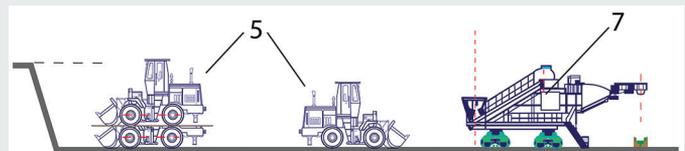
Choices have to be made concerning the optimal technological approaches that have to be used within the realms of the MCRCC framework. Various conditions have to be made in the decision-making endeavors. First, a choice has to be made on the exact type of crushing plant that has to be used, given the attainment of the maximum



**Figure 1. The first option with the installation of the mobile crusher in the face.**

**Сурет 1. Бірінші нұсқа кенжарға орнатылған мобильді ұсатқышты.**

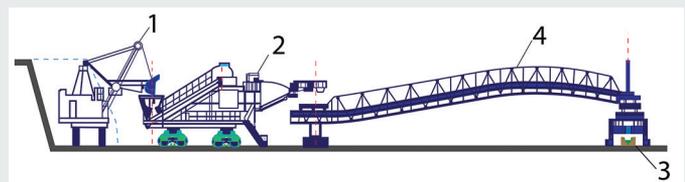
**Рис. 1. Первый вариант с установкой мобильной дробилки в забое.**



**Figure 2. The second approach on installing the mobile conveyor-reloader between the downhole conveyor and the mobile crusher.**

**Сурет 2. Ұңғыма конвейері мен жылжымалы ұсатқыш арасында жылжымалы конвейерді қайта жүктеуді орнатудың екінші тәсілі.**

**Рис. 2. Второй подход по установке мобильного конвейера-перегрузателя между скважинным конвейером и мобильной дробилкой.**



**Figure 3. The third approach based on using mobile crushers located at the working site.**

**Сурет 3. Үшінші тәсіл жұмыс алаңында орналасқан жылжымалы ұсатқыштарды қолдануға негізделген.**

**Рис. 3. Третий подход основан на использовании мобильных дробилок, расположенных на рабочей площадке.**

<sup>1</sup>Khokhryakov B.C. *Open pit design*. – Moscow: Nedra, 1992. 383 p. (in Russian)

productivity of the excavator. Moreover, the required lumpiness of the mineral ore associated with the various mechanical and physical properties has to be explored.

The second necessary aspect is to select the optimal mining and handling equipment that aligns with the expected technological parameters. Some of the leading parameters that must be considered are the capacity associated with the excavator bucket, discharge height, and the mechanism of loading into the crusher hopper. It is closely followed by the third condition of considering the presence and types of the re-loaders.

The third expectation and condition that has to be observed in the context of the comprehensive MCRCC framework is the selection of the downhole conveyor that can either be telescopic or mobile based on the prevailing circumstances and preferences. The fourth consideration is based on the choice of the installation method that has to be linked to the crushing plant in the loading process and other related aspects. Lastly, the emphasis must be placed on selecting the installation methods and moving the aspect of the inter-step loading crane.

### Comparative Analysis

Decisions have continued being made by the mining engineers and the management teams of the various mining companies concerning the right versions of the three approaches of the cyclic-flow technology aspects that have to be used at any given moment. A comparative analysis of the three approaches commonly used in the current dispensation is facilitated by the data captured in the graph (figure 4) [5].

The graphic information above indicates that all three versions of cyclic-flow technology schemes are associated with the increase in length of the block, as is the case from 200 m to 1800 m. It is associated with increased annual productivity from 3.5 to 5.8 cubic meters per year. It is displayed in the graph that the system performances associated with the first and the second approaches/options have almost similar values.

It is evident in the second option that the increase in the extent of the length of the block from the initial 500 meters leads to a reduction in the levels of performance as compared to the case of the first option of the cyclic-flow technological scheme. In the case of the third option, it is evident that the system's performance is comparatively faster with the small block length. The increase in the length of the same block from a figure in the region of 700 m led to rapid instances of increases.

The implication in that regard is that the low performance of the system in the context of the length that is up to 700 meters can be related to the reasoning that the third option of the cyclic-flow technological scheme is associated with the larger number of idle transfers of the complex. It is a situation larger than observed in the first and second approaches/options, respectively.

Based on the observations made in the case above, the implication is that there has been a focus on the development of the methodology whose rationale is to ensure the determination of the two aspects. They include the annual productivity and working time associated with the MCRCC framework that has to be compared to the three approaches/options of cyclic-flow technological schemes that have been reviewed. The emphasis, in that case, has to be laid on the need to establish

the dependence of the annual productivity associated with the block length of the MCRCC framework [9].

### Alternative Approach/Option

The prospect of improving the cyclic-flow technology for deposits with low ore content and high productivity calls for the need to implement a proven effective and efficient framework based on past performance levels. A comparison of the three options of the cyclic-flow technological schemes that have been considered in this context reveals that there is the need to formulate a comprehensively new technological approach linked to the MCRCC framework that will be relied upon to ensure the provision of the high system performance while ensuring low time spent on idling.

The need to have a system that adheres to the above requirements paves the way for the formulation of the new technological framework characterized by the development of the overburdened ledges equipped with the central heating system necessary for the deposits with low ore content and high productivity based on MCRCC. It, therefore, follows that such a comprehensive and efficient system is recommended moving forward. The figure 5 [5] illustrates the necessary framework.

A concise overview of the new system indicates that it is organized and structured in ways that work on two horizons. According to [10], the implication is that the downhole conveyor has to be installed on the upper ledge for efficiency purposes. The development of the new MCRCC framework

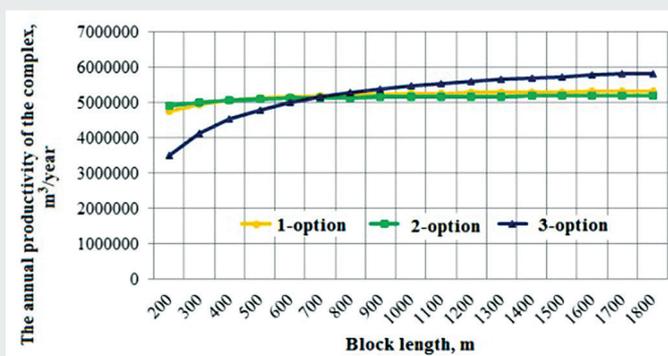


Figure 4. Three versions of cyclic-flow technology schemes are associated with the increase in length of the block.

Сурет 4. Циклдік ағындық технологиялық схемалардың үш нұсқасы блок ұзындығының ұлғаюымен байланысты.

Рис. 4. Три варианта технологических схем с циклическим потоком связаны с увеличением длины блока.

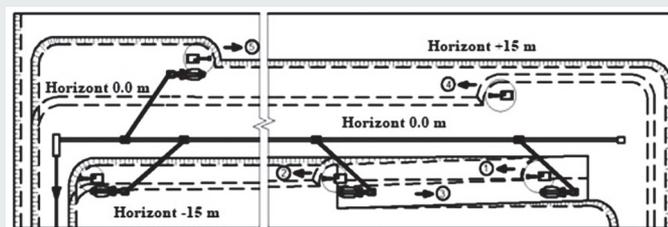
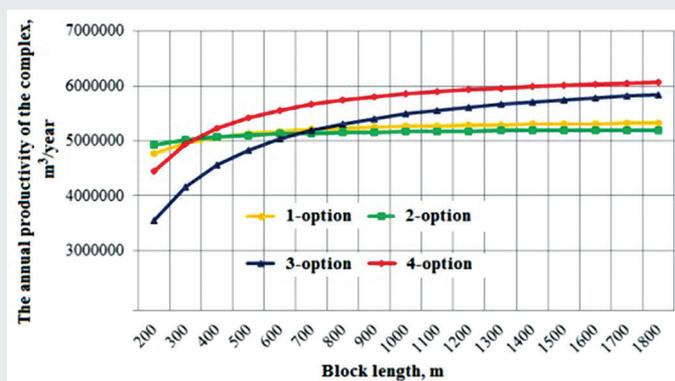


Figure 5. The necessary framework.

Сурет 5. Қажетті шектеулер.

Рис. 5. Необходимые рамки.



**Figure 6. The performances of the new MCRCC framework tend to increase with the length of the block.**

**Сурет 6. Жаңа жылжымалы ұсақтау-қайта тию-конвейерлік кешендердің өнімділігі блок ұзындығымен ұлғаяды.**

**Рис. 6. Производительность новых мобильных дробильно-перегрузочно-конвейерных комплексов имеет тенденцию к увеличению с увеличением длины блока.**

leads to the need to compare it with the previous three approaches/options that have always been at the disposal of mining engineers and executives (figure 6) [5].

The data above indicate that the performances of the new MCRCC framework tend to increase with the length of the block. The situation is linked to the decreases in the number of cycles observed during the working period around the year. It can also be noted that studies have established that the productivity of the MCRCC tends to increase with the decrease associated with the specific time of the movement of the downhole conveyor in the regular working cycle [8].

It is a situation that calls for comparing the new cyclic-flow technological approach to the previous ones. In the

new dispensation, there is increased productivity based on the increase in the length of the block. It has to be noted that the whole analysis is on deposits with low ore content and high productivity, where productivity is of great essence. The approach of working out benches based on the longitudinal runs by the system that has the lateral location linked to the downhole conveyor and the availability of the mobile interstage loading crane that has been facilitated by the sequential mining operations occurring at two horizons has been responsible for the high levels of productivity.

### Conclusion

The prospect of improving cyclic-flow technology for deposits with low ore content and high productivity calls for adopting the technological scheme to ensure the required outcomes. In this context, three approaches that have been greatly used in the past have been explored, where it has been established that they fail to attain the required performance levels. At that juncture, a new mechanism based on the MCRCC complex had to be formulated. Analysis of the new approach has led to the understanding that it is way better than its predecessors regarding high productivity and environmental management concerns.

The novelty associated with the new approach of the cyclic-flow technological scheme based on the MCRCC complex implies the need for more empirical studies to ensure further improvements. The notable aspect of the new approach/option is based on the movement of the complex that follows the excavator, which guarantees the flexibility and mobility of the entire mining and transport system. It is a mechanism that ensures progress in the right direction. It is associated with a reduction in mining costs and significant success in environmental management. The new fully mobile crushing system is a great improvement on the initial three approaches/options that can finally guarantee the required levels of improvement of cyclic-flow technology for deposits with low ore content and high productivity.

### REFERENCES

1. Paricheh M., Osanloo M. How to exit conveyor from an open-pit mine: a theoretical approach. // *Proceedings of the 27th International symposium on mine planning and equipment selection (MPES)*. – 2018. – P. 319-334 (in English)
2. Vasiliev M.V. Principy opredeleniya momenta perexoda na novyj vid transporta pri razrabotke glubokix kar'erov. [Principles of determining the moment of transition to a new type of transport in the development of deep quarries]. // *Sovershenstvovanie kar'ernogo transporta: raboty IGDMChM SSSR = Improvement of quarry transport: works of IGDMCHM USSR*. – 1970. – Vol. 30. – P. 14-17 (in Russian)
3. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. The selection of open-pit dump trucks at the reconstruction of quarry. // *Procedia Engineering*. – 2017. – №206. – P. 1696-1702 (in English)
4. Abdollahisharif J., Bakhtavar E., Shahriar K. Open-pit to underground mining – where is the optimum transition depth? // *21st World Mining Congress*. – Krakow (Poland), 2008. – P. 189-196 (in English)
5. Annakulov T. Development of technological schemes for open-pit mining of deposits using «mobile crushing-reloading-conveyor complexes». // *E3S Web of Conferences: Ukrainian School of Mining Engineering*. – 2020. – Vol. 201. – P. 1-11 (in English)
6. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. Principles of projecting mining-and-engineering systems for integrated mineral mining with a combined geotechnology. // *Journal of Mining Science*. – 2008. – №44. – P. 578-584 (in English)

7. *Bascetin A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. // Environmental Geology. – 2007. – №52. – P. 663-672 (in English)*
8. *Lashgari A., Yazdani-Chamzini A., Fouladgar M.M., Zavadskas E.K., Shafiee S., Abbate N. Equipment selection using fuzzy multi criteria decision making model: Key study of Gole Gohar Iron Mine. // Engineering Economics. – 2012. – №23. – P. 125-136 (in English)*
9. *Burmistrov K.V., Osintsev N.A. Principles of sustainable development of mining and technical systems in transitional periods. // Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo Assets Engineering. – 2020. – №331. – P. 179-195 (in English)*
10. *Suprun V., Agafonov J. Substantiation of boundaries and procedure for mining of large coal brachysynclines. // Mine planning and equipment selection. – 2014. – P. 25-29 (in English)*

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Paricheh M., Osanloo M. Ашық кеніштен конвейерді қалай шығаруға болады: теориялық көзқарас. // Шахталарды жоспарлау және жабдықтарды таңдау бойынша 27-ші халықаралық симпозиум материалдары. – 2018. – Б. 319-334 (ағылшын тілінде)*
2. *Васильев М.В. Терең карьерлерді игеру кезінде көліктің жаңа түріне көшу сәтін анықтау принциптері. // Карьер көлігін жетілдіру: КСРО тау-кен ісі институтының еңбектері. – 1970. – Шығ. 30. – Б. 14-17 (орыс тілінде)*
3. *Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakraev A.N. Карьерді қайта құру кезінде тау-кен автосамосвалдарын таңдау. // Процедураларды әзірлеу. – 2017. – №206. – Б. 1696-1702 (ағылшын тілінде)*
4. *Abdollahisharif J., Bakhtavar E., Shahriar Ашық карьерден жер астына – оңтайлы өту тереңдігі қайда? // 21-ші Дүниежүзілік тау-кен конгресі. – Краков (Польша), 2008. – Б. 189-196 (ағылшын тілінде)*
5. *Annakulov T. «Жылжымалы ұсақтау-түсіру-конвейерлік кешендерді» пайдалана отырып, тау-кен жұмыстарын ашық әдіспен өндірудің технологиялық схемаларын әзірлеу. // E3S конференция желісі: Украина тау-кен инженерия мектебі. – 2020. – Шығ. 201. – Б. 1-11 (ағылшын тілінде)*
6. *Karlipov D.R., Ryl'nikova M.V. Біріктірілген геотехнологияны пайдалана отырып, кешенді тау-кен жұмыстарын жүргізуге арналған тау-кен және инженерлік жүйелерді жобалау принциптері. // Тау-кен ғылымдары журналы. – 2008. – №44. – Б. 578-584 (ағылшын тілінде)*
7. *Bascetin A. Оңтайлы ашық карьердегі экологиялық рекультивация үшін аналитикалық иерархиялық процесті қолданатын шешімдерді қолдау жүйесі. // Экологиялық геология. – 2007. – №52. – С. 663-672 (ағылшын тілінде)*
8. *Lashgari A., Yazdani-Chamzini A., Fouladgar M.M., Zavadskas E.K., Shafiee S., Abbate N. Бұлыңғыр көп критериялы шешім моделін қолдану арқылы жабдықты таңдау: Голе-Гохар темір кенішінің негізгі зерттеуі. // Инженерлік экономика. – 2012. – №23. – Б. 125-136 (ағылшын тілінде)*
9. *Burmistrov K.V., Osintsev N.A. Өтпелі кезеңдегі тау-кен-техникалық жүйелердің тұрақты дамуының принциптері. // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Гео активтердің инженериясы. – 2020. – №331. – Б. 179-195 (ағылшын тілінде)*
10. *Suprun V., Agafonov J. Ірі көмір брахисинклиналдарын өндірудің шекаралары мен тәртібін негіздеу. // Шахталарды жоспарлау және жабдықтарды таңдау. – 2014. – С. 25-29 (ағылшын тілінде)*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Paricheh M., Osanloo M. Как выйти с конвейера из открытой шахты: теоретический подход. // Материалы 27-го Международного симпозиума по планированию горных работ и выбору оборудования (MPES). – 2018. – С. 319-334 (на английском языке)*
2. *Васильев М.В. Принципы определения момента перехода на новый вид транспорта при разработке глубоких карьеров. // Совершенствование карьерного транспорта: работы ИГДМЧМ СССР. – 1970. – Вып. 30. – С. 14-17 (на русском языке)*

3. *Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. Выбор карьерных самосвалов при реконструкции карьера. // Разработка процедур. – 2017. – №206. – С. 1696-1702 (на английском языке)*
4. *Abdollahisharif J., Bakhtavar E., Shahriar K. От открытой разработки к подземной – где оптимальная глубина перехода? // 21-й Всемирный горный конгресс. – Краков (Польша), 2008. – С. 189-196 (на английском языке)*
5. *Annakulov T. Разработка технологических схем открытой разработки месторождений с использованием «мобильных дробильно-перегрузочно-конвейерных комплексов». // Сеть конференций E3S: Украинская школа горной инженерии. – 2020. – Вып. 201. – С. 1-11 (на английском языке)*
6. *Karlinov D.R., Ryl'nikova M.V. Принципы проектирования горно-инженерных систем для комплексной добычи полезных ископаемых с использованием комбинированной геотехнологии. // Журнал горных наук. – 2008. – №44. – С. 578-584 (на английском языке)*
7. *Bascetin A. Система поддержки принятия решений с использованием процесса аналитической иерархии для оптимальной экологической рекультивации открытого карьера. // Экологическая геология. – 2007. – №52. – С. 663-672 (на английском языке)*
8. *Lashgari A., Yazdani-Chamzini A., Fouladgar M.M., Zavadskas E.K., Shafiee S., Abbate N. Выбор оборудования с использованием нечеткой многокритериальной модели принятия решений: ключевое исследование железного рудника Голе-Гохар. // Инженерная экономика. – 2012. – №23. – С. 125-136 (на английском языке)*
9. *Burmistrov K.V., Osintsev N.A. Принципы устойчивого развития горно-технических систем в переходные периоды. // Вестник Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – №331. – С. 179-195 (на английском языке)*
10. *Suprun V., Agaforov J. Обоснование границ и порядка отработки крупных угольных брахисинклиналей. // Планирование горных работ и выбор оборудования. – 2014. – С. 25-29 (на английском языке)*

#### Information about the authors:

**Zhalbyrov Zh.D.**, PhD Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), [zhanibek\\_zhalbyrov@mail.ru](mailto:zhanibek_zhalbyrov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7652-6242>

**Zamaliyev N.M.**, PhD, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Commercial Joint-Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan), [nailzamaliyev@mail.ru](mailto:nailzamaliyev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

**Valiev N.G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Department of Mining of the Ural State Mining University (Yekaterinburg, Russia), [science@ursmu.ru](mailto:science@ursmu.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

**Zhanseitov Azamat Toleshovich**, Master of Science, Head at the Cabinet for the Development and Implementation of Educational Programs of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan (Karaganda, Kazakhstan), [a.zhanseitov@apa.kz](mailto:a.zhanseitov@apa.kz); <https://orcid.org/0000-0001-9495-0530>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Жалбыров Ж.Д.**, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Замалиев Н.М.**, PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті коммерциялық емес акционерлік қоғамының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан),

**Валиев Н.Г.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Орал мемлекеттік тау-кен университетінің, Тау-кен кафедрасының меңгерушісі (Екатеринбург қ., Ресей)

**Жансейтов А.Т.**, ғылым магистрі, Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Мемлекеттік басқару академиясы Білім беру бағдарламаларын әзірлеу және іске асыру кабинетінің меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Жалбыров Ж.Д.**, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Замалиев Н.М.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

**Валиев Н.Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета (г. Екатеринбург, Россия)

**Жансейтов А.Т.**, магистр наук, заведующий кабинетом разработки и реализации образовательных программ Академии государственного управления при Президенте Республики Казахстан (Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 38.61.31

\*Д.С. Сапаргалиев<sup>1,2,3</sup>, Е.Ж. Муртазин<sup>2</sup>, В.А. Смоляр<sup>2</sup>, Р.А. Нурпеисов<sup>2,3</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (г. Алматы, Казахстан),<sup>3</sup>Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. академика У. Асаналиева (г. Бишкек, Кыргызстан)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЖЕМСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА В АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** В статье представлен анализ изученности месторождений подземных вод меловых отложений Жемского бассейна пластовых и блоково-пластовых вод второго порядка, относящегося к Прикаспийской системе пластовых вод артезианского бассейна первого порядка в пределах Актюбинской области. Приведены актуальные сведения об эксплуатационных запасах и прогнозных ресурсах подземных вод, степени их изученности и освоения. Выделены наиболее перспективные для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов пресные и слабосолоноватые воды, приуроченные к альбским отложениям нижнего мела, распространенные в пределах Жемского артезианского бассейна практически повсеместно. Приведены перспективы освоения пресных подземных вод меловых отложений Жемского артезианского бассейна, в том числе за счет их переборки в вододефицитные регионы.

**Ключевые слова:** запасы подземных вод, ресурсы подземных вод, месторождения, Жемский бассейн, меловые отложения, водозабор, Актюбинская область.

**Ақтөбе облысындағы Жем артезиан алабының бор шөгінділерінің тұщы жерасты суларын игеру перспективалары**

**Андатпа.** Мақалада Ақтөбе облысы шегіндегі Каспиймаңы пласттық су жүйесінің бірінші ретті артезиан алабына жататын екінші ретті пласттық және блок-пласттық Жем алабының бор шөгінділеріндегі жерасты сулары кенорындарының зерттелуіне талдау берілген. Жерасты суларының пайдалану қорлары мен болжамды ресурстары, олардың зерттелу және игерілу дәрежесі туралы өзекті мәліметтер келтірілген. Жем артезиан алабының барлық жерінде дерлік таралған төменгі бордың альб шөгінділеріне қатысты тұщы және аздап ащы сулар елді мекендер мен өнеркәсіптік нысандарды шаруашылық-ауыз сумен қамтамасыз ету үшін ең перспективалы болып табылады. Жем артезиан алабының бор шөгінділерінен тұщы жерасты суларын, оның ішінде оларды су тапшылығы бар аймақтарға беру арқылы игеру перспективалары көрсетілген.

**Түйінді сөздер:** жерасты суларының қоры, жерасты суларының ресурстары, жерасты суларының кен орындары, Жем алабы, бор шөгінділері, су алабы, Ақтөбе облысы.

**Prospects for the development of fresh groundwater from the Cretaceous deposits of the Zhem artesian basin in the Aktobe region**

**Abstract.** The article presents an analysis of the study of groundwater deposits study in the Cretaceous sites of the Zhem basin of the second order formation and block-formation waters, related to the Caspian system of formation waters of the first order artesian basin within the Aktobe region. Up-to-date information about operational reserves and forecast resources of groundwater, the degree of their study and development are given. Fresh and slightly brackish waters confined to the Albian deposits of the Lower Cretaceous distributed almost everywhere within the Zhem artesian basin and are singled out as the most promising for the purposes of domestic and drinking water supply of settlements and industrial facilities. The prospects for the development of fresh groundwater from the Cretaceous sites of the Zhem artesian basin, including their transfer to water-deficient regions, are presented.

**Key words:** groundwater resources, groundwater reserves, deposits, fresh water, Zhem water basin, Cretaceous deposits, water intake, Albian deposits, Caspian system, Aktobe region.

### Введение

Актюбинская область, как и все административные единицы Западного Казахстана, относится к вододефицитным регионам как по подземным, так и по поверхностным водам. Согласно данным Управления водоснабжения и водоотведения Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан, к услугам водоснабжения имеют доступ 196 из 315 сельских населенных пунктов Актюбинской области<sup>1</sup>.

Потребность в пресной воде для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Актюбинской области<sup>2</sup> к 2030 г. может возрасти с учетом нынешнего водоотбора от 163,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут. до 321,06 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Следовательно, дополнительная потребность области

в пресной воде к 2030 г. составит 157,66 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Увеличение потребности обосновывается естественным ростом населения области, которая выделяется активным развитием промышленности на фоне наличия значительных минерально-сырьевых ресурсов и площадей сельскохозяйственного назначения<sup>3</sup>.

Наиболее перспективным для целей водоснабжения как населенных пунктов, так и промышленных объектов области, являются пресные и слабосолоноватые подземные воды, приуроченные к меловым отложениям, распространенным в контуре Жемского артезианского бассейна. Жемский (ранее – Эмбинский) бассейн пластовых и блоково-пластовых вод второго порядка относится к Прикаспийской системе пластовых вод артезианского бассейна первого порядка [1, 2]. Площадь бассейна занимает около 100 тыс. км<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Карта по водообеспечению сельских населенных пунктов Управления водоснабжения и водоотведения Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан. <https://auylsu.kz/provision/2>.

<sup>2</sup>Смоляр В.А., Бузов Б.В., Мустафаев С.Т. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы: Институт географии, 2012. – Том XIX. Подземные воды Казахстана: обеспеченность и использование. – 402 с. (на русском языке)

<sup>3</sup>Jean Margat, Jac van der Gun. Groundwater around the World. A Geographic Synopsis. – CRC Press: A Balkema Book, 2013. – 341 p.

Таблица 1  
Обеспеченность подземными водами сельских населенных пунктов (СНП) Актюбинской области  
Кесте 1  
Ақтөбе облысы ауылдық елді мекендерінің (АЕМ) жерасты суларымен қамтамасыз етілуі

Table 1  
Groundwater supply of rural settlements (RS) of Aktobe region

Административные районы	Имеют доступ к водоснабжению				Не имеют доступа к водоснабжению			
	Количество СНП, ед.	%	Население, чел.	%	Количество СНП, ед.	%	Население, чел.	%
Айтекебийский	18	67	21643	89	9	33	2542	11
Алгинский	18	62	18294	89	11	38	2150	11
Байганинский	10	43	19195	83	13	57	3804	17
Иргизский	14	78	13318	89	4	22	1580	11
Каргалинский	12	80	16087	95	3	20	812	5
Мартукский	23	72	28971	97	9	28	833	3
Мугалжарский	16	47	13489	77	18	53	4048	23
Темирский	13	52	32431	91	12	48	3303	9
Уилский	15	68	17290	93	7	32	1248	7
Хобдинский	14	45	14950	82	17	55	3332	18
Хромтауский	16	59	14953	93	11	41	1189	7
Шалкарский	27	84	17182	97	5	16	584	3
Итого по области	196	62	227803	90	119	38	25425	10

из которых 96 тыс. км<sup>2</sup> или 85% относится к северо-западной части Актюбинской области (рис. 1).

**Материалы и методы**

За основу взяты актуальные данные Кадастра месторождений подземных вод<sup>4</sup>, справочника месторождений подземных вод Казахстана и ряд других источников [2-6].

Методика проведения исследования основана на комплексном способе, включающем в себя теоретический анализ и системный подход к сбору и обработке актуальной геолого-гидрогеологической информации, симбиоз методов оценки, прогноза и управления водными ресурсами. Проанализированы данные по 381 месторождению подземных вод Актюбинской области, из числа которых выделены месторождения Жемского артезианского бассейна, в том числе, приуроченные к меловым отложениям.

**Результаты**

Анализ данных Управления водоснабжения и водоотведения Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан, сведенных в табл. 1, показывает наличие централизованного водоснабжения в 62% сельских населенных пунктах или доступ 90% сельского населения области к централизованному водоисточнику качественных подземных вод.

Стоит отметить, что Управление водоснабжения и водоотведения Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства не приводит данных о городах, где централизованное водоснабжение имеется.

Также, не приводятся сведения о сельских населенных пунктах, расположенных на землях, подчиненных маслихату г. Актюбе, население которых, в основном имеет доступ к водоснабжению, либо уже ведутся поисково-разведочные работы с целью их водообеспечения.



Рис. 1. Жемский бассейн пластовых и блоково-пластовых вод второго порядка Прикаспийской системы пластовых вод артезианского бассейна первого порядка.

Сурет 1. Бірінші ретті артезиан бассейнінің Каспий маңы қабат сулары жүйесінің екінші ретті қабат және блок-қабат суларының Жем бассейні.  
Figure 1. Zhem reservoir of formation and block-formation waters of the second order of the Caspian system of formation waters of the artesian basin of the first order.

<sup>4</sup>Кадастр месторождений подземных вод с запасами, утвержденными ГКЗ, ТКЗ для питьевых и технических вод по Республике Казахстан на 01.01.2021 г.

Таблица 2

Запасы подземных вод Актюбинской области по состоянию на 01.01.2021 г.

Кесте 2

Ақтөбе облысының жерасты суларының қоры 01.01.2021 ж.

Table 2

Groundwater reserves of the Aktobe region as of 01.01.2021

Наименование	Количество месторождений, ед.	Запасы по категориям, тыс. м <sup>3</sup> /сут.				Суммарные эксплуатационные запасы, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Забалансовые запасы, тыс. м <sup>3</sup> /сут.
		А	В	С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>		
Всего по области, в т.ч.:	381	699,88	658,96	416,14	140,07	1915,06	53,12
в меловых отложениях по области	156	262,95	266,73	320,38	58,26	908,31	29,25
по Жемскому бассейну	165	180,78	230,99	255,19	88,46	755,41	34,13
в меловых + четвертичных отложениях Жемского бассейна, в т.ч.:	120	176,83	211,56	242,01	58,16	688,56	29,25
в меловых отложениях Жемского бассейна, в т.ч.:	116	167,51	205,10	238,47	41,96	653,03	29,25
с минерализацией до 1 г/дм <sup>3</sup>	111	132,83	135,76	225,35	58,16	552,10	29,25
с минерализацией 1-3 г/дм <sup>3</sup>	9	44,00	75,80	16,66	–	136,46	–
в меловых + четвертичных отложениях Жемского бассейна	4	9,32	6,46	3,55	16,20	35,53	–

Урбанизация, аналогично другим крупным городам Казахстана, приводит к росту населения г. Актюбе и увеличению прилегающих к нему сельских населенных пунктов и жилых массивов, следовательно, и к повышению потребности в хозяйственно-питьевой воде. Для решения данной задачи в последние годы проводятся как поисково-разведочные работы в районе сельских населенных пунктов с небольшой потребностью, так и переоценка неэксплуатируемых месторождений подземных вод меловых отложений, расположенных в радиусе 40-80 км от г. Актюбе (Моисеевское и Сарыбулакское). Пресные поверхностные воды в пределах рассматриваемой области ввиду ограниченного

распространения и подверженности антропогенным и климатическим изменениям для хозяйственно-питьевого водоснабжения практически не используются.

Прогнозные ресурсы пресных и слабосолоноватых подземных вод Актюбинской области<sup>1</sup> оценена в 9419,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут., в том числе, пресных вод с минерализацией до 1,0 г/дм<sup>3</sup> – 5434,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут., с минерализацией 1,0-3,0 г/дм<sup>3</sup> – 3985 тыс. м<sup>3</sup>/сут., что составляет 6% от общих республиканских прогнозных ресурсов, в том числе для пресных вод – 4,9%.

Согласно Кадастру<sup>3</sup>, суммарные эксплуатационные запасы подземных вод составляют 43076,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут.,

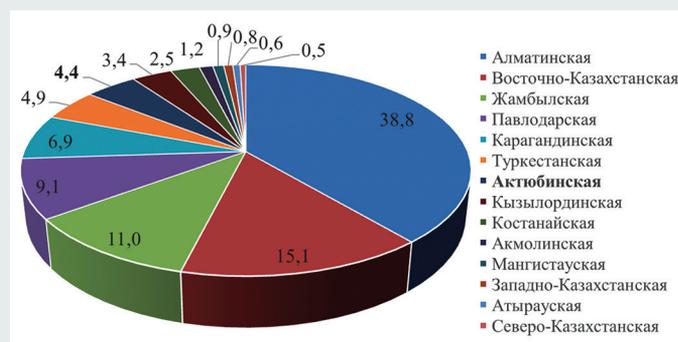


Рис. 2. Распределение эксплуатационных запасов подземных вод по состоянию на 01.01.2021 г. по административным областям, %.

Сурет 2. 01.01.2021ж. жерасты суларының пайдаланылатын қорларының әкімшілік аудандар бойынша бөлінуі, %.

Figure 2. Distribution of exploitable groundwater reserves as of 01.01.2021 by administrative regions, %.

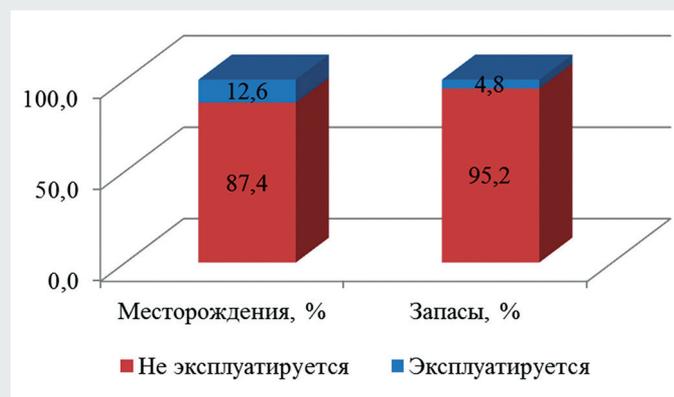


Рис. 3. Степень освоённости месторождений подземных вод Актюбинской области, %.

Сурет 3. Ақтөбе облысындағы жерасты сулары кен орындарының игерілу дәрежесі, %.

Figure 3. The degree of development of groundwater deposits in the Aktobe region, %.

Таблица 3

Наиболее крупные месторождения пресных подземных вод Жемского бассейна, приуроченные к меловым отложениям (по состоянию на 01.01.2021 г.)

Кесте 3

Жем су алабындағы бор дәуірінің шөгінділерімен шектелген тұщы жерасты суларының ірі кен орындары (01.01.2021 жағдай бойынша)

Table 3

The largest deposits of fresh groundwater in the Zhem basin, confined to the Cretaceous deposits (as of 01.01.2021)

Наименование месторождения	Индекс водоносного горизонта	Эксплуатационные запасы, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Водоотбор	
			тыс. м <sup>3</sup> /сут.	% от утвержденных запасов
Кокжиде	K <sub>1</sub> al	196,5	10,2 (2020 г.)	0,05
Кундактақырское	K <sub>1</sub> al	46,65	18,8 (2012 г.)	40
Моисеевское	K <sub>1</sub> al	41,5	не эксплуатируется	0
Жаркамьское	K <sub>1</sub> al	37,0	не эксплуатируется	0
Богдановское	K <sub>1</sub> al + aQ	33,0	15,1 (2012 г.)	46
Шубарское	K <sub>1</sub> al + K <sub>2</sub> s	28,9	не эксплуатируется	0
Сарыбулакское	K <sub>1</sub> al	22,0	не эксплуатируется	0

в том числе по 381 месторождению, расположенному в пределах Актюбинской области с суммарными запасами 1915,06 тыс. м<sup>3</sup>/сут., что составляет лишь 4,4% от общего количества запасов по республике (рис. 2). Кроме этого, в пределах Актюбинской области имеются забалансовые запасы подземных вод в количестве 53,12 тыс. м<sup>3</sup>/сут., использование которых на момент оценки признано нецелесообразным по технико-экономическим либо экологическим причинам. Месторождения минеральных вод в пределах рассматриваемого бассейна на балансе не состоят.

На основе соотношения величин эксплуатационных и прогнозных ресурсов оценивается ресурсный потенциал подземных вод и перспективы их освоения для территории исследований. Отношение разведанных эксплуатационных запасов подземных вод к величине прогнозных ресурсов определенной территории понимается как степень ее разведанности<sup>5</sup> [3, 7, 8].

Разведанность пресных и слабосолоноватых подземных вод Актюбинской области составляет 29%, соответственно, для пресных вод с минерализацией 1,0 г/дм<sup>3</sup> – 36,2%. По территории области имеется резерв для разведки, освоения и использования в перспективе прогнозных ресурсов подземных вод. Анализ материалов позволяет выделить запасы подземных вод, приуроченных к меловым отложениям, и распределить их по минерализации и степени изученности (табл. 2)<sup>6</sup>: 165 месторождений подземных вод (43%) Актюбинской области с суммарными запасами 755,41 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (47%) разведаны в пределах Жемского артезианского бассейна, существенная часть которых (73% месторождений или 91% от утвержденных запасов бассейна) оценена по меловым отложениям, в редких случаях – совместно с водами, приуроченными

к четвертичным отложениям и гидравлически взаимосвязанными с подстилающими меловыми.

Геолого-гидрогеологическая изученность месторождений подземных вод меловых отложений Жемского бассейна довольно высокая: по промышленным категориям она достигает А + В – 388,39 тыс. м<sup>3</sup>/сут. или 56% от суммарных запасов (табл. 2). Запасы категории С<sub>1</sub> составляют 242,01 тыс. м<sup>3</sup>/сут. или 35% от суммарных запасов, что, согласно указанной классификации, позволяет их вовлекать в эксплуатацию для нужд сельских населенных пунктов и отдельных водопользователей, потребность которых не превышает 1000 м<sup>3</sup>/сут.

Подземные воды приурочены к отложениям маастрихтского, сантонского, альбского, сеноманского, апт-неокомского возрастов, представленных преимущественно песками, иногда глинистыми; песчаниками с прослоями глин, и распространены в пределах Жемского бассейна практически повсеместно<sup>7</sup> [1-3].

При удалении от Мугоджар, где меловые отложения выходят на поверхность и происходит питание подземных вод за счет инфильтрации, в южном и юго-западном направлении минерализация подземных вод возрастает от 0,2-0,7 г/дм<sup>3</sup> до 2,7-24,8 г/дм<sup>3</sup> (соответственно, месторождения Каратюбе ПТВ (K<sub>1</sub>al), Каратюбе Южный ПТВ (K<sub>1</sub>a)), увеличиваясь за пределами Жемского бассейна по мере погружения.

Меловые отложения рассматриваемого бассейна характеризуются значительными запасами пресных подземных вод, которые достигают 75% от утвержденных (табл. 2), при этом минерализация подземных вод наиболее перспективных альбских отложений в пределах бассейна не превышает 2,7 г/дм<sup>3</sup>.

<sup>5</sup>Язвин А.Л. Ресурсный потенциал пресных подземных вод России (решение современных проблем геологического изучения). / Дисс... д-ра геол.-минерал. наук, 25.00.07 – Гидрогеология. – Москва, 2015. – 330 с. (на русском языке)

<sup>6</sup>Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. Утверждена приказом Министра энергетики и природных ресурсов Республики Казахстан 13.08.1997 г. № 99. – Алматы, 1997. – 7 с.

<sup>7</sup>Сидоренко А.В. Гидрогеология СССР. – М.: Недра, 1971. – Том XXXV. Западный Казахстан. – 522 с.

По химическому составу пресные воды альбских отложений преимущественно гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные натриевые, слабосолеватые – сульфатно-хлоридные, хлоридные натриевые и смешанные с преобладанием анионов хлора.

Наиболее крупные месторождения пресных подземных вод, приуроченные к меловым отложениям Жемского бассейна, представлены в табл. 3, согласно которой, большинство месторождений не эксплуатируется или эксплуатируется не на полную мощность.

В целом, в пределах Актюбинской области действует 71 водозабор, суммарный водоотбор по которым достигает 97,375 тыс. м<sup>3</sup>/сут., что составляет лишь 5,1% от утвержденных запасов. Стоит отметить, что 12 водозаборов с суммарным водоотбором 1,276 тыс. м<sup>3</sup>/сут. эксплуатируются с неутвержденными запасами, следовательно, водоотбор с месторождений с утвержденными запасами еще меньше – 4,8% (рис. 3)<sup>4</sup>.

### Заключение

На основании проанализированных материалов можно констатировать следующее:

- пресные подземные воды меловых отложений Жемского бассейна являются одним из основных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов Актюбинской области;

- степень изученности месторождений пресных подземных вод, приуроченных к меловым отложениям

Жемского бассейна, позволяют с минимальными затратами (в рамках доразведки и переоценки) перевести запасы категории С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub> в более высокие;

- запасы, состоящие на балансе по категории С<sub>1</sub>, можно эксплуатировать для хозяйственно-питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов, потребность которых не превышает 1000 м<sup>3</sup>/сут., без производства затратных поисковых работ;

- слабая освоенность месторождений пресных подземных вод, приуроченных к меловым отложениям Жемского бассейна, запасы которых достигают 552,1 м<sup>3</sup>/сут., позволяют не только перекрыть дополнительную потребность в хозяйственно-питьевой воде населения Актюбинской области, которая к 2030 г. составит 157,66 тыс. м<sup>3</sup>/сут., но и обеспечить водой население соседних вододефицитных областей, таких как Атырауская и Мангыстауская, за счет их переброски;

- наличие оцененных прогнозных ресурсов подземных вод Актюбинской области является основанием для постановок поисково-разведочных работ для их оценки и постановки на государственный баланс.

Стоит отметить, что работы в части переброски водных ресурсов в вододефицитные регионы уже начаты. В 2021 г. произведена переоценка эксплуатационных запасов подземных вод месторождения Кокжиде с целью обеспечения хозяйственно-питьевой водой г. Атырау и населенных пунктов, которые располагаются вдоль проектируемого водовода<sup>8</sup>.

<sup>8</sup>Бураков М.М., Недюжин В.В., Подольный О.В. и др. Отчет о результатах работ по объекту: «Доразведка с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод месторождения Кокжиде в Актюбинской области», выполненных в 2019-2021 гг. с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.11.2021 г. – Алматы: ТОО НППФ «КазГИДЭЖ», 2021. – 291 с.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сапаргалиев Д.С., Завалей В.А. Особенности разведки месторождений подземных вод в условиях низких значений фильтрационных свойств водоносного горизонта (на примере месторождения Северная Трува в Актюбинской области Республики Казахстан). // Труды XXIII Международного симпозиума им. акад. М.А.Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2019. – Т. 1. – С. 390-392 (на русском языке)
2. Сапаргалиев Д.С., Нурпеисов Р.А., Тайкенов Ж.М. Запасы подземных вод меловых отложений Жемского артезианского бассейна в Актюбинской области. // Сатпаевские чтения. – Алматы, 2021. – Т. 1. – С. 631-635 (на русском языке)
3. Нурабаев Б.К., Надырбаев А.А., Тулегенов М.К., Тансыкбаева Ж.Б. Месторождения подземных вод в артезианских бассейнах. Актюбинская область. // Месторождения подземных вод Казахстана: справочник. Второе издание. – Алматы, 2019. – Т. 1. Западный и Южный Казахстан. – С. 40-91 (на русском языке)
4. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж. Подземные воды – потенциал устойчивого питьевого водоснабжения Казахстана. // Вестник КазНАЕН. – Астана, 2016. – №1. – С. 45-49 (на русском языке)
5. Смоляр В.А., Сапаргалиев Д.С., Ким Д.В. Комплексное и рациональное использование поверхностных и подземных вод – основа водной безопасности Республики Казахстан. // Геология и охрана недр. – Алматы, 2020. – №1(74). – С. 59-71 (на русском языке)
6. Муртазин Е.Ж., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю. Структура геоинформационно-аналитической системы «Ресурсы и запасы подземных вод Республики Казахстан». // Известия Академии наук Республики Казахстан. Серия геолого-технических наук. – 2019. – №3. – С. 21-29 (на английском языке)
7. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж., Сапаргалиев Д.С., Исаев А.К. Подземные воды: система классификации и управления ресурсами. // Недропользование XXI век. – М., 2019. – №6(82). – С. 20-25 (на русском языке)

8. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж., Сапаргалиев Д.С. и др. Рамочная классификация ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов ООН 2009 года применительно к подземным водам. // Геология и охрана недр. – Алматы, 2020. – №1 (74) 2020. – С. 72-78 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сапаргалиев Д.С., Завалей В.А. Сулы горизонттың фильтрациялық қасиеттерінің төмен мәндері жағдайында жерасты суларының кен орындарын барлау ерекшеліктері (Қазақстан Республикасының Ақтөбе облысындағы Солтүстік Трува кен орны мысалында). // «Геология және жер қойнауын игеру мәселелері» студенттер мен жас ғалымдарға арналған академик М.А. Усов атындағы XXIII халықаралық симпозиум материалдары. – Томск, 2019. – Т. 1. – Б. 390-392 (орыс тілінде)
2. Сапаргалиев Д.С., Нурпеисов Р.А., Тайкенов Ж.М. Ақтөбе облысындағы жем артезиан алабының бор шөгінділерінің жерасты суларының қоры. // Сәтбаев оқулары. – Алматы, 2021. – Т. 1. – Б. 631-635 (орыс тілінде)
3. Нурабаев Б.К., Надырбаев А.А., Тулегенов М.К., Тансыкбаева Ж.Б. Артезиан алаптарындағы жер асты суларының шөгінділері. Ақтөбе облысы. // Қазақстандағы жер асты суларының кен орындары: анықтамалық. Екінші басылым. – Алматы, 2019. – Т.И. Батыс және Оңтүстік Қазақстан. – Б. 40-91 (орыс тілінде)
4. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж. Жерасты сулары – Қазақстанды тұрақты ауыз сумен қамтамасыз ету әлеуеті. // ҚазҰАЭБ хабаршысы. – Астана, 2016. – №1. – Б. 45-49 (орыс тілінде)
5. Смоляр В.А., Сапаргалиев Д.С., Ким Д.В. Жербеті және жерасты суларын кешенді әрі ұтымды пайдалану – Қазақстан Республикасы су қауіпсіздігінің негізі. // Геология және жер қойнауын қорғау. – Алматы, 2020. – №1(74). – Б. 59-71 (орыс тілінде)
6. Муртазин Е.Ж., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю. «Қазақстан Республикасының жерасты суларының ресурстары мен қорлары» геоақпараттық-аналитикалық жүйесінің құрылымы. // Қазақстан Республикасы Ғылым Академиясының еңбектері. Геолого-техникалық ғылымдыр сериясы. – 2019. – №3. – Б. 21-29 (ағылшын тілінде)
7. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж., Сапаргалиев Д.С., Исаев А.К. Жерасты сулары: классификация және ресурстарды басқару жүйесі. // Жер қойнауын пайдалану XXI ғасыр. – Мәскеу, 2019. – №6(82). – Б. 20-25 (орыс тілінде)
8. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж., Сапаргалиев Д.С. және т. б. 2009 БҰҰ қазбалы энергия мен минералдық қорлар мен жерасты суларының ресурстары үшін негіздемелік классификациясы. // Геология және жер қойнауын қорғау. – Алматы, 2020. – №1(74). – Б. 72-78 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Sapargaliyev D.S., Zavaley V.A. Osobennosti razvedki mestorozhdenij podzemnyx vod v usloviyax nizkix znachenij fil'tracionnyx svojstv vodonosnogo gorizonta (na primere mestorozhdeniya Severnaya Truva v Aktyubinskoj oblasti Respubliki Kazaxstan) [Features of the exploration of groundwater deposits in conditions of low values of the filtration properties of the aquifer (on the example of the Northern Truva deposit in the Aktobe region of the Republic of Kazakhstan)]. // Trudy XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma im. akad. M.A.Usova studentov i molodyx uchenyx «Problemy geologii i osvoeniya nedr» = Proceedings of the XXIII International Symposium named after academician M.A. Usov for students and young scientists «Problems of geology and development of subsoil». – Tomsk, 2019. – Vol. 1. – P. 390-392 (in Russian)
2. Sapargaliyev D.S., Nurpeisov R.A., Taykenov ZH.M. Zapasy podzemnyx vod melovyx otlozhenij Zhemskogo artezianskogo bassejna v Aktyubinskoj oblasti [Groundwater reserves of Cretaceous deposits of the Zhemsky artesian basin in the Aktobe region]. // Satpaevskie chteniya = Satpaev Readings. – Almaty, 2021. – Vol. 1. – P. 631-635 (in Russian)
3. Nurabaev B.K., Nadyrbaev A.A., Tulegenov M.K., Tansykbaeva Zh.B. Mestorozhdeniya podzemnyx vod v artezianskix bassejnyx. Aktyubinskaya oblast' [Groundwater deposits in artesian basins. Aktobe region]. // Mestorozhdeniya podzemnyx vod Kazaxstana: spravochnik. Vtoroe izdanie = Deposits of groundwater in Kazakhstan: a reference book. Second edition. – Almaty, 2019. – T. I. Zapadnyj i Yuzhnyj Kazaxstan = Western and Southern Kazakhstan. – P. 40-91 (in Russian)
4. Absametov M.K., Murtazin Ye.Zh. Podzemnye vody – potencial ustojchivogo pit'evogo vodosnabzheniya Kazaxstana [Groundwater – the potential for sustainable drinking

- water supply in Kazakhstan]. // *Vestnik KazNAEN = Bulletin of KazNAEN*. – Astana, 2016. – №1. – P. 45-49 (in Russian)
5. Smolyar V.A., Sapargaliyev D.S., Kim D.V. *Kompleksnoe i racional'noe ispol'zovanie poverkhnostnykh i podzemnykh vod – osnova vodnoj bezopasnosti Respubliki Kazaxstan [Integrated and rational use of surface and ground waters is the basis of water security in the Republic of Kazakhstan]*. // *Geologiya i oxrana nedr = Geology and subsoil protection*. – Almaty, 2020. – №1(74). – P. 59-71 (in Russian)
  6. Murtazin E., Miroshnichenko O., Trushel L. *Structure of geoinformational and analytical system «Groundwater Resources and Reserves of the Republic of Kazakhstan»*. // *News of the Academy of sciences of the Republic Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. – 2019. – №3. – P. 21-29 (in English)
  7. Absametov M.K., Murtazin Ye.ZH., Sapargaliyev D.S., Isayev A.K. *Podzemnye vody: `sistema klassifikatsii i upravleniya resursami [Groundwater: a classification and resource management system]*. // *Nedropol'zovanie XXI vek = Subsoil use XXI century*. – Moscow, 2019. – №6(82). – P. 20-25 (in Russian)
  8. Absametov M.K., Murtazin Ye.Zh., Sapargaliyev D.S. *i dr. Ramochnaya klassifikatsiya iskopaemykh e'nergeticheskix i mineral'nykh zapasov i resursov OON 2009 goda primenitel'no k podzemnym vodam [2009 United Nations Framework Classification of Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources for Groundwater]*. // *Geologiya i oxrana nedr = Geology and subsoil protection*. – Almaty, 2020. – № 1 (74) 2020. – P. 72-78 (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Сапарғалиев Д.С.**, докторант кафедры «Гидрогеология, инженерная геология и нефтегазовая геология», ответственный секретарь Совета по инновациям по реализации инновационных проектов и программ Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), аспирант Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У. Асаналиева (г. Бишкек, Кыргызстан), [sapargaliyevds@mail.ru](mailto:sapargaliyevds@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3751-7738>

**Муртазин Е.Ж.**, канд. геол.-минерал. наук, заместитель директора Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [ye\\_murtazin@list.ru](mailto:ye_murtazin@list.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7404-4298>

**Смоляр В.А.**, д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [v\\_smolyar@mail.ru](mailto:v_smolyar@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9419-048X>

**Нурпеисов Р.А.**, ведущий инженер лаборатории промышленных и геотермальных вод Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), аспирант Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У. Асаналиева (г. Бишкек, Кыргызстан), [rgz\\_rn@mail.ru](mailto:rgz_rn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5597-883X>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Сапарғалиев Д.С.**, Satbayev University «Гидрогеология, инженерлік геология және мұнай-газ геологиясы» кафедрасының докторанты, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының инновациялық жобалар мен бағдарламаларды іске асыру жөніндегі инновациялық кеңестің жауапты хатшысы (Алматы қ., Қазақстан), академик У. Асаналиев атындағы Қырғыз мемлекеттік геология, тау-кен ісі және табиғи ресурстарды игеру университетінің аспиранты (Бішкек қ., Қырғызстан)

**Муртазин Е.Ж.**, геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты директорының орынбасары (Алматы қ., Қазақстан)

**Смоляр В.А.**, геология-минералогия ғылымдарының докторы, Satbayev University, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

**Нурпеисов Р.А.**, Satbayev University, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының жетекші инженері (Алматы қ., Қазақстан), академик У. Асаналиев атындағы Қырғыз мемлекеттік геология, тау-кен ісі және табиғи ресурстарды игеру университетінің аспиранты (Бішкек қ., Қырғызстан)

#### Information about authors:

**Sapargaliyev D.S.**, Doctoral Student at the Department «Hydrogeology, Engineering and Oil and Gas Geology», Executive Secretary of the Innovation Council for the Implementation of Innovative Projects and Programs of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Ahmetsafin of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), post-graduate student of the Kyrgyz State University of Geology, Mining and Development of Natural Resources named after Academician U. Asanaliyev (Bishkek, Kyrgyzstan)

**Murtazin Y.Z.**, PhD (Geological and Mineralogical Sciences), Deputy Director of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Smolyar V.A.**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher at the Laboratory of Regional Hydrogeology and Geoecology of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Nurpeisov R.A.**, Leading Engineer of the Laboratory of Industrial and Geothermal Waters of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), post-graduate student of the Kyrgyz State University of Geology, Mining and Development of Natural Resources named after Academician U. Asanaliyev (Bishkek, Kyrgyzstan)

*Работа выполнена в рамках программы «Тепло-энергетический, минерально-сырьевой и лечебно-оздоровительный потенциал термоминеральных и промышленных подземных вод Казахстана. Оценка состояния и тенденций изменения гидрогеохимических показателей подземных вод под влиянием природно-климатических изменений и антропогенных нагрузок» (Грант № BR10262555). Авторы выражают благодарность Комитету геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.*

**COMEX****18 | 19 | 20  
апреля 2023**

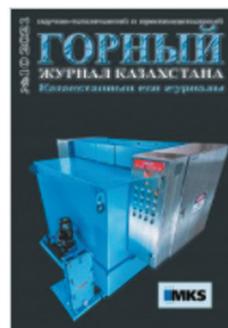
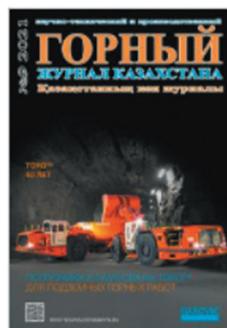
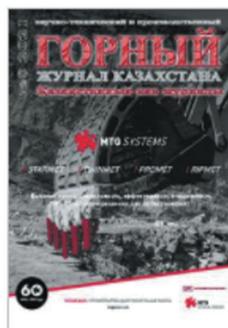
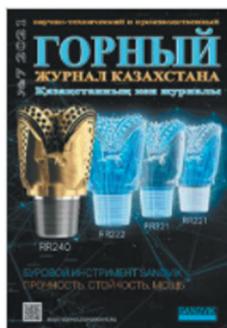
6-я Международная  
специализированная выставка

# Дорожного строительства, спецтехники и комплектующих

+996 (775) 00-00-05    info@biexpo.kg



# ОТКРЫТА ПОДПИСКА



**КАЗПОЧТА      ЕВРАЗИЯ ПРЕСС      ЭВРИКА-ПРЕСС**

**Подписной индекс 75807**

**Заявка на главной странице сайта MINMAG.KZ**

## ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Заполните форму и мы перезвоним Вам в ближайшее время

 Ваше имя \*

 Ваш телефон \*

 Ваш e-mail \*

 Полные реквизиты

 Количество экземпляров

**Оформить подписку на журнал**

 Все Ваши данные конфиденциальны и не распространяются третьим лицам

**Следите за новостями!**



[minmag.kz](http://minmag.kz)



[@minmag.kz](https://www.instagram.com/minmag.kz)



[+7 747 343 15 02](https://wa.me/77473431502)



[post-dts@yandex.kz](mailto:post-dts@yandex.kz)

050026, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401

Код МРНТИ 52.13.04

К.Б. Рысбеков, М.Б. Нурпеисова, \*Х.М. Касымканова, Г.М. Кыргызбаева

Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Аннотация.** В статье рассматриваются способы и методы проведения геодинамического и геомеханического мониторинга на месторождениях полезных ископаемых, разрабатываемых открытым, подземным и комбинированным способами. Для полноты извлечения минерального сырья в эксплуатацию активно вводятся залежи полезных ископаемых на больших глубинах и залегающих в сложных горно-геологических условиях. Здесь ожидаются большие осложнения, связанные с геомеханической и геодинамической ситуациями, в результате которых могут разрушаться промышленные объекты, жилые дома и сооружения, а это, в свою очередь, приведет к большим финансовым убыткам горнодобывающих предприятий, человеческим потерям и социальной нестабильности в горнорудных районах. На основе данных, полученных из геодезических, геофизических, аэрокосмических исследований, горнорудные предприятия выполняют моделирование геомеханических и геодинамических процессов для принятия управленческих решений по нивелированию технологического производства для отвода негативного воздействия на природную среду, в целях обеспечения безопасной отработки месторождений полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** геология, структура, тектоника, методика, геодезическая сеть, геодезические съемки, спутниковые системы, геодинамический мониторинг, спутниковые системы, моделирование, лазерное сканирование, геодинамические полигоны, напряженно-деформированное состояние.

### Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кезіндегі тау-кен массивінің жай-күйінің геодинамикалық және геотехникалық мониторингі

**Аңдатпа.** Қазақстан тау-кен өнеркәсібі қарқынды дамып келе жатқан елдердің бірі болып табылады, сондықтан мақалада ашық, жерасты және аралас тәсілдермен игерілетін пайдалы қазбалар кен орындарында геодинамикалық және геомеханикалық мониторинг жүргізу тәсілдері мен әдістері туралы ақпарат қарастырылады. Минералды шикізатты толық алу үшін пайдалы қазбалардың шөгінділері үлкен тереңдікте және күрделі тау-кен-геологиялық жағдайларда пайдалануға белсенді түрде енгізіледі. Мұнда геомеханикалық және геодинамикалық жағдайларға байланысты үлкен асқынулар күтілуде, нәтижесінде өндірістік нысандар, тұрғын үйлер мен құрылыстар бұзылуы мүмкін және бұл өз кезегінде тау-кен кәсіпорындарының үлкен қаржылық шығындарына, тау-кен аудандарындағы адам шығыны мен әлеуметтік тұрақсыздыққа әкеледі. Геодезиялық, геофизикалық, аэроғарыштық мәліметтерден алынған мәліметтер негізінде тау-кен кәсіпорындары геомеханикалық және геодинамикалық модельдеуді орындайды.

**Түйінді сөздер:** геология, құрылым, тектоника, әдістеме, геодезиялық желі, геодезиялық түсірілім, спутниктік жүйелер, геодинамикалық мониторинг, спутниктік жүйелер, модельдеу, лазерлік сканерлеу, геодинамикалық полигондар, кернеулі-деформацияланған күй.

### Geodynamic and geotechnical monitoring of the array state in the development of mineral deposits

**Abstract.** Kazakhstan is one of the countries where the mining industry is developing at a rapid speed, therefore, the article discusses information on the methods for conducting geodynamic and geomechanical monitoring at mineral deposits developed by open, underground and combined methods. To complete the extraction of mineral raw materials, mineral deposits are actively put into operation at great depths and occurring in difficult mining and geological conditions. Here, large complications are expected associated with geomechanical and geodynamic situations, as a result of which industrial facilities, residential buildings and structures may collapse, and this, in turn, will lead to large financial losses for mining enterprises, to human losses and social instability in mining areas. Based on data obtained from geodetic, geophysical, aerospace data, mining enterprises perform simulations of geomechanical and geodynamic processes to make management decisions on leveling technological production to remove the negative impact of the natural environment in order to ensure the safe development of a mineral deposit.

**Key words:** geology, structure, tectonics, methodology, geodetic network, geodetic surveys, satellite systems, geodynamic monitoring, satellite systems, modeling, laser scanning, geodynamic polygons, stress-strain state.

### Введение

С каждым годом численность людей на Земле растет, скоро мы столкнемся с такой проблемой, как нехватка сырьевых ресурсов и тогда в разработку будут вовлекаться месторождения, находящиеся в сложных горно-геологических условиях и залегающих на больших глубинах.

В Казахстане горнодобывающая промышленность является одним из самых передовых производств по обеспечению рабочими местами населения. Для полноты извлечения минерального сырья в эксплуатацию активно вводятся залежи полезных ископаемых на больших глубинах и залегающих в сложных горно-геологических условиях<sup>1</sup>.

Конечно, здесь ожидаются большие осложнения, связанные с геомеханической и геодинамической ситуациями, в результате которых могут разрушаться промышленные объекты, жилые дома и сооружения, что, в свою очередь, приведет к большим финансовым убыткам горнодобывающих предприятий и, что самое печальное, к человеческим потерям и социальной нестабильности в горнорудных районах.

В целях принятия управленческих решений по нивелированию технологического производства для отвода негативного воздействия на природную среду необходимо выполнить моделирование геомеханических и геодинамических процессов

на основе данных, полученных из геодезических, геофизических, аэрокосмических исследований, чтобы обеспечить безопасную отработку месторождений полезных ископаемых открытым, подземным и комбинированным способом и не понести финансовых затрат<sup>2</sup>.

В современных реалиях при проведении геодинамического и геомеханического мониторинга деформационных процессов земной поверхности глобального, регионального, локального характера при разработке месторождений полезных ископаемых активно применяют:

- глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС);
- лазерное сканирование;

<sup>1</sup>О государственной поддержке индустриально-инновационной деятельности. / Закон Республики Казахстан от 11.01.2012 г.

<sup>2</sup>Bazaluk O., Rysbekov K., Nurpeisova M., Lozynskiy V., Kyrgyzbayeva G., Turumbetov T. Integrated monitoring for the rock mass state during large-scale subsoil development. / *Frontiers in Environmental Science*. – 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.852591> [электронный ресурс].

- фотограмметрию, основанную на применении беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);

- дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) [1].

Геодинамические полигоны и наблюдательные станции закладываются в районах, где ведутся горные работы по разработке месторождений полезных ископаемых с целью проведения комплексных наблюдений с применением современных геодезических и геофизических приборов и средств. Наблюдения выполняют обычно 2 раза в год – осенний и весенний периоды. Получают результаты по смещению реперов геодинамического полигона и реперов наблюдательной станции в пределах разрабатываемого месторождения. По геопространственным данным реперов и центров геодинамического полигона и наблюдательной станции после проведения нескольких серий наблюдений появляется понимание, насколько интенсивна динамика во времени деформационных процессов.

Результаты серий наблюдений необходимо визуализировать, что позволит обоснованно выделить активные участки смещения геологических блоков и разломов во время разработки месторождений полезных ископаемых для прогнозирования участков возможных деформаций и принятия соответствующих управленческих решений с целью обеспечения безопасности ведения горных работ в пределах горного отвода, а также населенных пунктов, промышленных объектов в районе земельного отвода [2].

#### Методы исследования

Структурные особенности горного массива определяют развитие геомеханических и геодинамических процессов при его разработке. Сдвигание горных пород при подземном способе разработки, устойчивость карьерных откосов напрямую связаны со структурными особенностями горного массива.

Одним из структурных элементов массива горных пород, особенно влияющих на геомеханическую

и геодинамическую ситуацию при разработке месторождений полезных ископаемых, является трещинная тектоника. Для достоверной оценки устойчивости горного массива на стадии проектирования и последующей его разработки в расчетные данные вводятся коэффициент структурного ослабления, который напрямую зависит от степени трещиноватости горного массива. Выделяют качественную и количественную трещиноватость<sup>3</sup>. Качество трещиноватости оценивают по горной породе, где проходит трещина, а также то, чем она заполнена, и какова поверхность ее стенок. Количественная трещиноватость – это степень трещиноватости, длина, угол падения, ширина. По степени проявления трещины подразделяются на открытые, закрытые и скрытые. Открытые обнаруживаются легко в горном массиве, так как у них полость видна невооруженным глазом; скрытые – только тогда, когда отобранные образцы горного массива раскалывают. Закрытые можно определить при помощи современного лазерного сканера (рис. 1). Данный метод съемки трещиноватости горного массива отличается от известных большей информативностью по трещиноватости и тем, что нет контакта исполнителя работ с горным массивом.

В настоящее время в систему наземного сканирования, помимо

лазерного сканера, входят GPS-приемники для определения координат в режиме реального времени и постобработки.

При помощи наземного лазерного сканирования определяют структурные элементы карьерных откосов: трещины, границы литологических разностей, различные нарушения карьерных откосов и т. д., что позволяет провести районирование карьерных откосов по степени их нарушенности. Технология лазерного сканирования позволит получить с высокой точностью 3D-модель карьера для проектирования сети наблюдательных станций в местах повышенной концентрации трещинной тектоники [3].

Для проектирования геодинамического полигона используется 3D-модель, полученная с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Применение данного метода уменьшает полевые геодезические работы и их постобработку.

Проведение геодинамического мониторинга над подработанным пространством (подземные горные работы) зависит от поставленных задач, которые могут отличаться по точности определения пространственных данных реперов геодинамического полигона, организационными и методическими целями.

Деформационные процессы на земной поверхности делятся на природно-тектонические и техногенные.



**Рис. 1. Лазерное сканирование карьерных откосов.  
Сурет 1. Ашық карьерлерді лазерлік сканерлеу.  
Figure 1. Laser scanning of open pit slopes.**

<sup>3</sup>Kassymkanova K.-K. et al. Geomechanical Processes and Their Assessment in the Rock Massifs in Central Kazakhstan. / SpringerBriefs in Earth Sciences. – 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33993-7> [электронный ресурс]

Техногенные деформации развиваются с высокой скоростью, иногда достигающей нескольких дециметров в год. К частоте и точности измерений по проведению геомониторинга, особенно при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом и когда над подработанным пространством находится жилая, производственная, транспортная инфраструктура предъявляют повышенные требования по предупреждению скорости развития деформационных процессов техногенного характера [4]. Из имеющегося современного геодезического оборудования ГНСС в целом соответствует данным требованиям, но следует отметить, что по точности геодезических измерений ГНСС таковым не является. Однако, по технологическим параметрам – ведение мониторинга до долей секунд – можно его использовать и во время дистанционного контроля, а также при автоматизации измерений (рис. 2).

Методика проведения геомониторинга заключается в следующем: по материалам ранее проведенных исследований изучают геологию и тектонику региона; определяют физико-механические свойства горного массива; определяют границы проведения геомониторинга; используют геодезические методы: тахеометрический, GPS-наблюдения, лазерное сканирование. По результатам проведения геомониторинга выполняется прогноз и дается оценка состояния горного массива при его активной разработке. На основании полученных результатов геодинамического и геомеханического мониторинга принимаются управленческие решения по безопасной обработке месторождения [5].

Геомеханические процессы, происходящие в горном массиве в результате техногенного воздействия горного производства, наряду с инструментальными геодезическими исследованиями, нужно еще исследовать с применением аэрокосмических и геофизических методов, так как инструментальные геодезические методы дают лишь

количественные оценки сдвижений, уже произошедших, а их зарождение можно проконтролировать с помощью аэрокосмической съемки, лазерного сканирования, а также геофизическими методами.

#### Проведение исследований

Для проведения геодинамического и геомеханического мониторинга с целью выявления скорости развития техногенных деформационных процессов в районах горного и земельного отводов месторождения полезных ископаемых закладываются геодинамические полигоны и наблюдательные станции, которые опираются на пункты государственной геодезической сети и включают в себя опорные реперы наблюдательных станций, геофизические пункты, маркшейдерскую сеть исследуемого месторождения.

Для более детального, а с экономической точки зрения (не надо проводить закладку профильных линий по всему горному отводу) выгодного изучения геодинамических процессов при разработке месторождений медистых песчаников в Центральном Казахстане, рудные жилы которых залегают на значительных глубинах и разбросаны по полю, геомеханическая школа Satbayev University во время проведения исследований в рамках грантового финансирования предложила закладывать на таких

месторождениях непосредственно над рудными жилами «узловые» ветви, в состав которых входят базовые (референчные), опорные (исходные) и деформационные геодезические и нивелирные пункты<sup>4</sup> [6]. Все узловые пункты расположены в соответствии с рудными жилами, представленными на рис. 3. Современные геодезические технологии позволяют проводить дискретные и регулярные наблюдения, тем самым обеспечивая безопасность ведения горных работ и предупреждение развития деформационных процессов.

Для получения достоверной информации по скорости развития деформаций геомеханическая школа Satbayev University рекомендует проводить инструментальный контроль, комплексно опираясь на достижение технического прогресса в области геодезии, аэрокосмонавтики, геофизики, гидрогеологии и других методов исследования.

Организация геомеханического мониторинга инструментальных наблюдений за состоянием выработок и карьерных откосов включает в себя следующее:

- выявление неустойчивых участков на основе анализа инженерно-геологических и горно-технических условий разработки месторождения;
- проектирование наблюдательных станций;



**Рис. 2. Применение глобальной навигационной спутниковой системы при проведении геодинамического мониторинга.**

**Сурет 2. Геодинамикалық бақылау үшін ғаламдық навигациялық спутниктік жүйені қолдану.**

**Figure 2. Application of Global Navigation Satellite System for geodynamic monitoring.**

<sup>4</sup>Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М., Бек А.А. Геомеханический мониторинг техногенных систем: монография. / Lambert. – 2017. – 113 с.

- вынос проекта наблюдательных станций в натуру с последующей закладкой реперов;

- привязка опорных реперов к пунктам опорной геодезической сети;

- выполнение серий инструментальных наблюдений по реперам наблюдательной станции;

- камеральная обработка и анализ результатов инструментальных наблюдений.

### Заключение

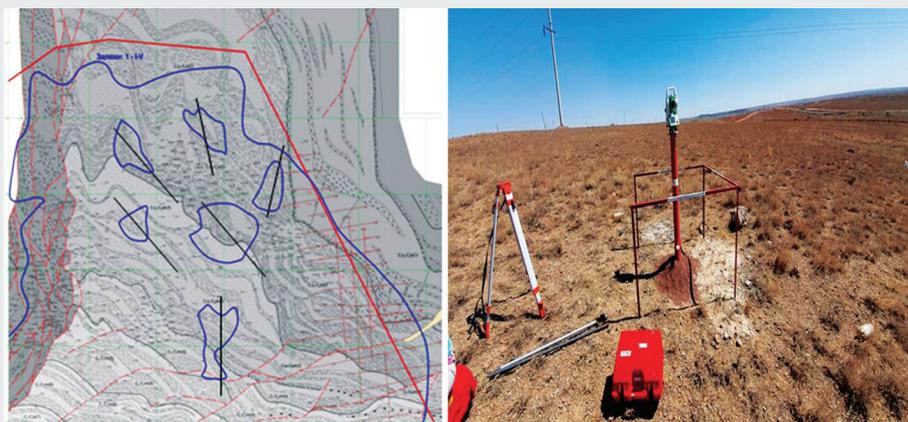
Систематические наблюдения на станциях заключаются в определении плано-высотного положения рабочих реперов профильных линий на текущий момент времени с помощью геодезических приборов, изучении возникающих нарушений устойчивости, установлении их характера, степени опасности и причин возникновения, их документации с отражением условий съемки и основных горно-геологического факторов [7].

Проведение систематических наблюдений позволяет дать количественную оценку сдвижений горной выработки; в комплексе с инженерно-геологическими и

гидрогеологическими исследованиями помогает выявить характер начавшегося сдвижения, что дает возможность сделать прогнозы относительно ее развития во времени и пространстве, наметить мероприятия по устранению причин, вызывающих развитие опасных сдвижений.

Инструментальные измерения – это оперативный надежный

контроль, который может выполняться и в режиме реального времени за состоянием геологических структур, слагающих горный массив, инженерных сооружений, размещенных на данном массиве и вблизи его. При помощи инструментального контроля можно исследовать развитие деформационных явлений во времени.



**Рис. 3. «Узловой метод», предложенный геомеханической школой Satbayev University.**

**Сурет 3. Сәтбаев университетінің геомеханикалық мектебі ұсынған «тораптық әдіс».**

**Figure 3. The «nodal method» proposed by the geomechanical school of Satbayev University.**

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kuldeev E.I., Rysbekov K.B., Donenbayeva N.S., Miletenko N.A. Современные методы геотехники – эффективный способ обеспечения промышленной безопасности на шахтах. // Евразийская горнодобывающая промышленность. – 2021. – №2. – С. 18-21 (на английском языке)
2. Опарин В.Н. Методологические основы построения многослойных мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности для горнодобывающих районов в тектонически активных зонах. // Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности: Материалы VI междунар. науч.-практ. конф. – Алматы, 2013. – С. 68-78 (на русском языке)
3. Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Bekbasarov Sh.Sh. Прогноз изменения геодинамического режима геологической среды при крупномасштабном освоении недр. // Научный вестник Национального горного университета. – 2021. – №6. – С. 5-10 (на английском языке)
4. Барях А.А., Санфиоров И.А. Комплексное геомеханическое и геофизическое обеспечение безопасности подземных работ. // Горный журнал. – 2005. – №12. – С. 79-83 (на русском языке)
5. Nurpeissova M., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Derbisov K., Turumbetov T., Shults R. Геодезическое обоснование Сарыаркинского меднорудного района. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геолого-технических наук. – 2020. – №6(444). – С. 194-202 (на английском языке)
6. Sdvyzhkova O., Babets D., Moldabayev S., Rysbekov K., Sarybayev M. Математическое моделирование стохастического изменения свойств горных пород при проектировании выемки. // Международная междисциплинарная научная геоконференция «Геодезическая геология и управление горной экологией SGEM». – 2020. – Вып. 1,2. – С. 165-172 (на английском языке)

7. Cheskidov V., Kassymkanova Kh.-K., Lipina A., Bornman M. *Современные методы мониторинга и прогнозирования состояния откосных сооружений.* // *E3S Сеть конференций. IV Международный инновационный горный симпозиум.* – 2019. – Вып. 105. – С. 0100114 (6 с.) (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Kuldeev E.I., Rysbekov K.B., Donenbayeva N.S., Miletenko N.A. *Заманауи геотехникалық әдістер – шахталарда өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз етудің тиімді тәсілі.* // *Еуразиялық тау-кен өнеркәсібі.* – 2021. – №2. – Б. 18-21 (ағылшын тілінде)
2. Опарин В.Н. *Тектоникалық белсенді аймақтардағы тау-кен аудандары үшін геомеханикалық-геодинамикалық қауіпсіздіктің көп қабатты мониторингтік жүйелерін құрудың әдіснамалық негіздері.* // *Тау-кен өнеркәсібінің инновациялық даму мәселелері мен жолдары: VI Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның материалдары.* – Алматы, 2013. – Б. 68-78 (орыс тілінде)
3. Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Bekbasarov Sh.Sh. *Жер қойнауын ауқымды игеру кезіндегі геологиялық ортаның геодинамикалық режимінің өзгеру болжамы.* // *Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы.* – 2021. – №6. – Б. 5-10 (ағылшын тілінде)
4. Барях А.А., Санфиров И.А. *Жерасты жұмыстарының қауіпсіздігін кешенді геомеханикалық және геофизикалық қамтамасыз ету.* // *Тау-кен журналы.* – 2005. – №12. – Б. 79-83 (орыс тілінде)
5. Nurpeissova M., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Derbisov K., Turumbetov T., Shults R. *Сарыарқа мыс рудасы ауданының геодезиялық негіздемесі.* // *Республика Ұлттық Ғылым академиясының еңбектері. Геологиялық және техникалық ғылымдар сериясы.* – 2020. – №6(444). – Б. 194-202 (ағылшын тілінде)
6. Sdvyzhkova O., Babets D., Moldabayev S., Rysbekov K., Sarybayev M. *Қазбаны жобалау кезінде тау жыныстарының қасиеттерінің стохастикалық өзгерісін математикалық модельдеу.* // *Халықаралық пәнаралық ғылыми геоконференция «Геодезиялық геология және тау экологиясын басқару SGEM».* – 2020. – Шығ. 1,2. – С. 165-172 (ағылшын тілінде)
7. Cheskidov V., Kassymkanova Kh.-K., Lipina A., Bornman M. *Еңіс құрылымдардың жағдайын бақылау мен болжаудың заманауи әдістері.* // *E3S конференция желісі. IV Халықаралық инновациялық тау-кен симпозиумы.* – 2019. – Шығ. 105. – Б. 0100114 (6 б.) (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Kuldeev E.I., Rysbekov K.B., Donenbayeva N.S., Miletenko N.A. *Modern methods of geotechnic – effective way of providing industrial safety in mines.* // *Eurasian Mining.* – 2021. – №2. – P. 18-21 (in English)
2. Oparin V.N. *Metodologicheskie osnovy postroeniya mnogoslojnyx monitoringovyx sistem geomexaniko-geodinamicheskoy bezopasnosti dlya gornodobyvayushhix rajonov v tektonicheski aktivnyx zonax [Methodological foundations for building multilayer monitoring systems of geomechanical and geodynamic safety for mining areas in tectonically active zones].* // *Problemy i puti innovacionnogo razvitiya gornodobyvayushhej promyshlennosti: Materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Problems and ways of innovative development of the mining industry: Proceedings of the VI International scientific-practical conferences.* – Almaty, 2013. – P.68-78 (in Russian)
3. Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Bekbasarov Sh.Sh. *Forecast changes in the geodynamic regime of geological environment during large-scale subsoil development.* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2021. – №6. – P. 5-10 (in English)
4. Baryax A.A., Sanfirov I.A. *Kompleksnoe geomexanicheskoe i geofizicheskoe obespechenie bezopasnosti podzemnyx rabot [Integrated geomechanical and geophysical security of underground operations].* // *Gornyj zhurnal = Mining journal.* – 2005. – №12. – P. 79-83 (in Russian)
5. Nurpeissova M., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., Derbisov K., Turumbetov T., Shults R. *Geodetic substantiation of the saryarka copper ore region.* // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* – 2020. – №6(444). – P. 194-202 (in English)

6. *Sdvyzhkova O., Babets D., Moldabayev S., Rysbekov K., Sarybayev M. Mathematical modeling a stochastic variation of rock properties at an excavation design. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2020. – Vol. 1.2. – P. 165-172 (in English)*
7. *Cheskidov V., Kassymkanova Kh.-K., Lipina A., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures. // E3S Web of Conferences. International Innovative Mining Symposium. – 2019. – Vol. 105. – P. 0100114 (6 p.) (in English)*

#### Сведения об авторах:

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

**Нурпеисова М.Б.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [m.nurpeisova@satbayev.university](mailto:m.nurpeisova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

**Касымканова Х.-К.М.**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [k.kassymkanova@satbayev.university](mailto:k.kassymkanova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-9590-2079>

**Кыргызбаева Г.М.**, канд. техн. наук, ассоциированный профессор, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [g.kyrgyzbayeva@satbayev.university](mailto:g.kyrgyzbayeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-4869-0587>

#### Авторлар туралы мәлімет:

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

**Нұрпейісова М.Б.**, техника ғылымдарының докторы, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Қасымқанова Х.-К.М.**, техника ғылымдарының докторы, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Қыргызбаева Гүлдана Мейрамбекқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

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

**Nurpeisova M.B.**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Kassymkanova Kh.-K.M.**, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Kyrgyzbayeva G.M.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК (Грант №AP14871828).*

Код МРНТИ 52.13.23

М.А. Байкенжин<sup>1</sup>, \*Ж.М. Асанова<sup>1</sup>, Ш.А. Абдибаитов<sup>2</sup>, Ж.Н. Нокина<sup>1</sup><sup>1</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова»  
(г. Караганда, Казахстан),<sup>2</sup>Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов  
им. акад. У. Асаналиева (г. Бишкек, Кыргызстан)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АРОЧНОЙ РАМОЙ КРЕПИ

**Аннотация.** Цель работы – повышение несущей способности металлических арочных крепей, используемых для поддержания горных выработок с помощью усиления в местах с наибольшим изгибающим моментом. Математическое моделирование применения усилителей крепи показало, что длину отрезков специального взаимозаменяемого профиля достаточно принять 30 см. Несложные расчеты показали, что вместо СВП 27 можно применить СВП 17 с вкладышами из отрезков того же типоразмера и сэкономить около 10 кг стали с каждого метра рамы. Предлагаемый способ повышения несущей способности крепи позволит снизить металлоемкость крепления горных выработок, и тем самым получить существенную экономию материальных и трудовых ресурсов. Проведенные исследования дают основание полагать, что предлагаемый вариант повышения несущей способности крепи, изготавливаемой из стального профиля проката, может существенно улучшить состояние горных выработок.

**Ключевые слова:** горная выработка, давление, арочная крепь, сталь, деформация, сопротивление, напряженно-деформированное состояние, изгибающий момент, специальный взаимозаменяемый профиль, поддержание.

### Аркалы рамалық бекітпенің көтергіш қабілетін жетілдіру

**Анатпа.** Жұмыстың максаты-ең үлкен иілу сәті бар жерлерде күшейту арқылы тау-кен қазбаларын ұстап тұру үшін қолданылатын металл аркалы бекітпелердің көтергіш қабілетін арттыру. Бекіткіш күшейткіштерді қолданудың математикалық модельдеуі арнайы ауыстырылатын профиль сегменттерінің ұзындығын 30 см қабылдау жеткілікті екенін көрсетті. Қарапайым есептеулер ААП 27 орнына ААП 17-ні және осы типтік өлшемдегі кесінді профильді қолдана отырып, раманың әр метрінен шамамен 10 кг болат үнемдей алуға болатынын көрсетті. Бекітпенің көтергіштік қабілетін арттырудың ұсынылып отырған тәсілі тау-кен қазбаларын бекітудің металл сыйымдылығын төмендетуге, сол арқылы материалдық және еңбек ресурстарын айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді. Жүргізілген зерттеулер прокаттың болат профілінен жасалған бекітпенің көтеру қабілетін арттырудың ұсынылған нұсқасы тау-кен қазбаларының жағдайын едәуір жақсартта алады деп болжауға негіз береді.

**Түйінді сөздер:** тау-кен өндірісі, қысым, арка бекітпесі, болат, деформация, қарсылық, кернеулі-деформацияланған күй, иілу моменті, арнайы ауыстырылатын профиль, техникалық қызмет көрсету.

### Improving the bearing capacity of the arched frame support

**Abstract.** The purpose of the work is to increase the bearing capacity of metal arch supports used to maintain mine workings by strengthening in places with the greatest bending moment. Mathematical modeling of the use of reinforcement reinforcements has shown that the length of the special interchangeable profile segments is sufficient to take 30 cm. Simple calculations showed that instead of SIP 27, you can use SIP 17 with inserts from segments of the same size and save about 10 kg of steel from each meter of the frame. The proposed method of increasing the bearing capacity of the support will reduce the metal intensity of the fastening of mine workings, and thereby obtain significant savings in material and labor resources. The conducted studies give reason to believe that the proposed option of increasing the bearing capacity of the support made of rolled steel profile can significantly improve the condition of mine workings.

**Key words:** mining, pressure, arch support, steel, deformation, resistance, stress-strain state, bending moment, special interchangeable profile, maintenance.

### Введение

Одной из серьезных проблем при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом является сохранение горных выработок в эксплуатационном состоянии<sup>1</sup>.

Крепи, выполненные из тяжелых профилей специального проката (арочная крепь), в условиях значительного напряженного состояния горного массива недостаточно обеспечивают необходимую устойчивость и безремонтное поддержание выработок. Доля других крепей, применяемых при сооружении горизонтальных и наклонных горных выработок<sup>1</sup>, не слишком значительна, типы и объем их применения в процентах представлены в табл. 1.

Другим существенным недостатком является трудоемкий ручной процесс крепления выработок. Операции по возведению арочной крепи

занимают 50-75% проходческого цикла. Значительные затраты времени приходится на операции по соединению элементов крепи, установке распорок и межрамных стяжек, ориентации рам по направлению выработки, расклиниванию арок, установке затяжек и заполнению пустот за крепью. Большинство этих работ

практически невозможно механизировать. В табл. 2 и 3 представлена трудоемкость и технико-экономические показатели крепления 1 м горных выработок различными видами крепи, применяемыми на шахтах Карагандинского бассейна [1].

Подверженность коррозии – еще один серьезный недостаток

**Таблица 1**

**Доли крепей, применяемых при сооружении горных выработок**

**Кесте 1**

**Тау-кен қазбаларын салу кезінде қолданылатын бекітпелердің үлесі**

**Table 1**

**The proportion of supports used in the construction of mine workings**

Типы крепления	%
Металлическая крепь	86,3
Монолитная бетонная крепь	8,6
Анкерная	1,1
Тюбинговая	2,9
Смешанная (железобетонные стойки с металлическим верхняком)	1,1

<sup>1</sup>Томилов А.Н. Обоснование параметров проведения горных выработок с использованием технологии анкерного крепления. / Дисс... PhD. – Караганда, 2020. – 198 с.

металлической крепи, особенно при интенсивном воздействии влажного воздуха при вентиляции выработок.

В агрессивных средах шахты разрушение поверхности металла в год составляет от 0,2 мм до 0,54 мм. За год коррозия разрушает 5-7% металлокрепи, поэтому для продления срока службы подготовительных горных выработок поверхность стальной крепи покрывают антикоррозийными составами (в основном пековым лаком)<sup>2</sup>.

#### Материалы и методы исследования

Наиболее часто используемым способом поддержания выработок является применение соответствующих конструкций крепей, позволяющих в конкретных условиях обеспечивать сохранность выработок. В настоящее время на шахтах по-прежнему широко распространена металлическая податливая арочная крепь из специального взаимозаменяемого профиля (СВП). Необходимо отметить, что повышение несущей способности крепи из СВП достигается за счет увеличения его типоразмера. Такой путь привел к применению СВП-33 для изготовления арочной крепи. Далее идти по этому пути нецелесообразно, поскольку он ведет к повышенной металлоемкости выработок, росту трудозатрат на установку крепи, удорожанию проходческих работ, при этом не гарантирует безремонтного поддержания [2].

С целью устранения перечисленных отрицательных факторов авторами предлагается способ повышения несущей способности крепи за счет усиления отдельных ее участков, главным образом верхняков, с помощью усилителей профиля СВП, которые представляют собой отрезки того же типоразмера, что и основная крепь (рис. 1). Отрезки СВП длиной 200-300 мм предлагается устанавливать на участках крепи, подверженных наибольшему изгибающим моментам, тем самым увеличиваются моменты сопротивления сечения профиля  $W_x$  и  $W_y$ . В результате, самые опасные участки крепи будут соответствовать типоразмерам более

Таблица 2  
Трудоемкость крепления 1 м выработки  
Кесте 2  
1 м өндірісті бекітудің еңбек сыйымдылығы  
Table 2  
Labor intensity of fixing 1 m of workings

Вид крепи	Трудоемкость, чел.-смен		
	Доставка крепи	Возведение крепи	Всего
Сборная железобетонная рамная	0,651	1,22	1,722
Металлическая арочная	0,549	1,171	1,71
Анкерная в сочетании с металлической рамной	0,581	1,168	1,69
Анкерная	0,108	0,635	0,640

Таблица 3  
Затраты на крепление 1 м выработки различными видами крепи  
Кесте 3  
Бекітпенің әртүрлі түрлерімен 1 м қазбаны бекітуге арналған шығындар  
Table 3  
Costs for fixing 1 m of workings with various types of fasteners

Вид крепи	Площадь сечения выработки, м <sup>2</sup>	Затраты на крепление 1 м выработки, тыс. тенге
Металлическая арочная	9	47,6
Железобетонная рамная	7,9	43,5
Анкерная	9	20

Таблица 4  
Результаты применения усиливающих элементов  
Кесте 4  
Күшейтетін элементтерді қолдану нәтижелері  
Table 4  
Results of the use of reinforcing elements

Параметр	Крепль без усилителей	Крепль с 1 усилителем	Крепль с 3 усилителями
Максимальные перемещения, мм	132,55	120,34	51,64
Напряжение по оси у, КПа	20766,2	18443,1	15012,7
Интенсивность напряжений, КПа	84936,7	64089,9	38942,4

СВП-33, следовательно, будет возможно основную раму изготовить, например, из СВП-22, а усиленные участки будут соответствовать СВП-44 [3]. Возможно усиление крепи без снижения металлоемкости – в случаях ожидаемой деформации крепи под действием горного давления, когда другие способы безремонтного поддержания подготовительных выработок неэффективны или требуют больших затрат времени, материалов и трудовых ресурсов. Таким образом, в соответствии с принципами управления

напряженно-деформированным состоянием рамных крепей управляющие воздействия должны прикладываться в зонах действия экстремальных моментов. Следовательно, для повышения эффективности применения усилительных элементов также необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние рамной крепи [4].

В качестве примера на рис. 2 показана обобщенная расчетная схема с комплексными управляющими силовыми воздействиями на раму крепи. В зонах изгибающих моментов

<sup>2</sup>Корчак А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений. – М.: Недра коммюникейшнс, 2001. – 414 с.

M2, M3, M4 целесообразно применение усилительных элементов<sup>3</sup>.

При рассмотрении расчетных схем рамной крепи с усиливающими элементами особое внимание необходимо уделять выбору рациональных мест их установки, так как это является одним из основных критериев при оптимизации величин внутренних усилий в раме крепи<sup>4</sup>.

В научно-технической литературе нет единого мнения о принципах выбора мест расположения усилительных элементов в арочной крепи. Основные варианты расположения усилителей [5]:

- 1) в двух точках верхняка на расстоянии 1/3-1/4 пролета;
- 2) усиление при вертикальной нагрузке в верхней части стоек, а при боковой – в середине верхняка;
- 3) усиление в районах узлов податливости.

Проанализировав существующие способы повышения несущей способности арочных крепей, управляющие силовые воздействия на раму крепи и характер взаимодействия крепи с контуром выработки, можно сделать вывод, что применение усиливающих элементов является одним из наиболее рациональных вариантов увеличения несущей способности металлических крепей с минимальными затратами на их установку<sup>5</sup> [6].

#### Методы анализа

Применение усиливающих элементов, как показали результаты моделирования напряженно-деформированного состояния усиленной арки, позволяют существенно улучшить ее несущую способность, т.к. при одной и той же заданной нагрузке максимальные перемещения уменьшаются в 2,4 раза, напряжение по оси у сокращается в 1,4 раза, интенсивность напряжения снижается в 1,8 раз (табл. 4) [6, 7].

Полученные результаты исследований применимы в условиях симметричного нагружения рамы жесткой крепи. Для остальных условий при большем количестве исходных данных необходим детальный расчет с целью более точного определения

схемы расположения усилителей по периметру арочной крепи.

#### Заключение

Анализ результатов проведенного эксперимента позволил сделать следующий вывод: предлагаемый метод моделирования выработок позволяет приблизить модель к реальным

условиям. Результаты проведенного моделирования (выработка с арочным усиленным креплением) говорят об уменьшении напряжений по бокам и впереди выработки, что благоприятствует снижению вероятности деформирования крепи, увеличивая ее несущую способность.

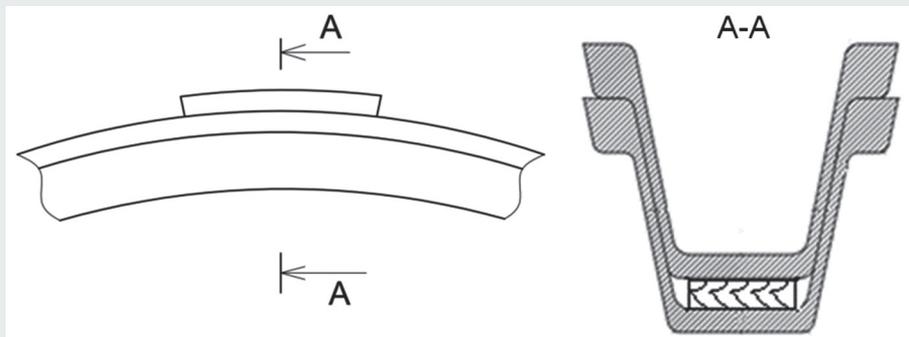


Рис. 1. Усилитель сечения СВП.  
Сурет 1. ААП қимасының күшейткіші.  
Figure 1. SIP cross-section amplifier.

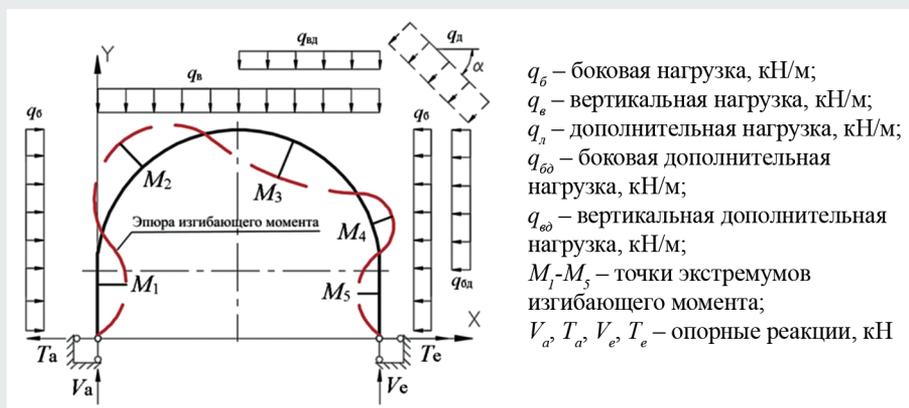


Рис. 2. Обобщенная расчетная схема арочной крепи.  
Сурет 2. Доғалы бекітпенің жалпыланған есептеу схемасы.  
Figure 2. Generalized design scheme of arch support.

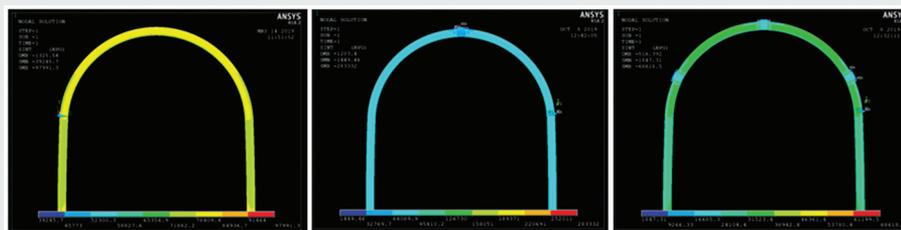


Рис. 3. Изменение интенсивности напряжений в зависимости от варианта применяемой крепи – без усилителя, с одним усилителем и с тремя усилителями.

Сурет 3. Қолданылатын бекіткіштің нұсқасына байланысты кернеу қарқындылығының өзгеруі – күшейткішсіз, бір күшейткішпен және үш күшейткішпен.

Figure 3. Change in voltage intensity depending on the type of support used – without an amplifier, with one amplifier and with three amplifiers.

<sup>3</sup>Глубоковских Ю.С. Исследование закономерностей изменения несущей способности металлических арочных крепей с расклинивающими элементами. / Дисс... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2017. – 132 с.

<sup>4</sup>Каспарьян Э.В., Козырев А.А., Иофис М.А., Макаров А.Б., Куликова Е.Ю. Геомеханика : учебник. – Мурманск : МГТУ, 2016. – Ч. 1. – 272 с.

<sup>5</sup>Нургулжин М.Р., Даненова Г.Т. Моделирование физических процессов на основе ПК ANSYS: учеб. пособие. – Караганда: КарГТУ, 2015. – 82 с.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тутанов С.К., Демин В.Ф., Журов В.В., Демин В.В. Оценка проблемы совершенствования крепления горных выработок. // Труды университета. – Караганда: КарТУ, 2008. – №3. – С. 36-39 (на русском языке)
2. Кириченко В.Я., Бондаренко В.И. Тенденция развития средств крепления подготовительных выработок на угольных шахтах Украины. // Школа подземной разработки: Материалы междунар. научн.-практич. конф. – Днепр: ЛізуновПрес, 2011. – С. 75-80 (на русском языке)
3. Таціенко В.П., Гоголин В.А., Ермакова И.А., Лесин Ю.В., Лисковец А.С. Расчет крепи с учетом тампонажа закрепного пространства. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – С.75-81 (на русском языке)
4. Демин В.Ф., Яворский В.В., Демина Т.В. Исследование напряженного состояния приконтурного массива вокруг выемочных выработок в зависимости от влияния горно-технологических факторов. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – №7-2. – С. 196-200 (на русском языке)
5. Байкенжин М.А., Асанова Ж.М. Повышение несущей способности шахтной рамной крепи путем применения усилителей профилей металлического проката. // Горный журнал. – 2021. – №5. – С. 36-41 (на русском языке)
6. Shaohui Wang, Wei Zhou, Qingxiang Cai, Xuyang Shi, Xiang Lu, Boyu Luan. Модель добычи угля на скользком склоне угольных карьеров Yiminhe. // Геотехника и геологическая инженерия. – 2019. – Т. 37. – Вып. 5. – С. 3727-3737 (на английском языке)
7. Zhuang X., Chun J., Zhu H. Сравнительное исследование распространения незаполненных и заполненных трещин в камнеподобном хрупком материале. // Теоретическая и прикладная механика разрушения. – 2014. – С. 110-120 (на английском языке)
8. Songfeng Guo, Shengwen Qi, Yu Zou, Bowen Zheng. Численные исследования процесса разрушения неоднородных хрупких пород или камнеподобных материалов при одноосном сжатии. // Материалы. – 2017. – №10(4). – С. 378 (22 с.) (на английском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тутанов С.К., Демин В.Ф., Журов В.В., Демин В.В. Кен қазбаларын бекітуді жақсарту мәселесін бағалау. // Университет материалдары. – Қарағанды: ҚарТУ, 2008. – №3. – Б. 36-39 (орыс тілінде)
2. Кириченко В.Я., Бондаренко В.И. Украинадағы көмір шахталарындағы дайындық жұмыстарына арналған бекіту құралдарын дамыту тенденциясы. // Жерасты тау-кен ісі мектебі: Интерннің еңбектері. ғылыми-практикалық конф. – Днепр: ЛізуновПресс, 2011. – Б. 75-80 (орыс тілінде)
3. Таціенко В.П., Гоголин В.А., Ермакова И.А., Лесин Ю.В., Лисковец А.С. Бекітілген кеңістіктің бітелуін ескере отырып, қаптамананы есептеу. // Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. – 2019. – Б. 75-81 (орыс тілінде)
4. Демин В.Ф., Яворский В.В., Демина Т.В. Тау-кен және технологиялық факторлардың әсеріне байланысты қазба жұмыстарының айналасындағы контур массасының кернеулік күйін зерттеу // Қолданбалы және іргелі зерттеулердің халықаралық журналы. – 2015. – №7-2. – Б. 196-200 (орыс тілінде)
5. Байкенжин М.А., Асанова Ж.М. Прокатты металл профильдері үшін арматураларды қолдану арқылы шахта қаңқасының тірегінің көтергіштігін арттыру. // Тау-кен журналы. – 2021. – №5. – Б. 36-41 (орыс тілінде)
6. Shaohui Wang, Wei Zhou, Qingxiang Cai, Xuyang Shi, Xiang Lu, Boyu Luan. Yiminhe ашық көмір кеніштеріндегі тайғақ беткейдегі көмір өндіру моделі. // Геотехникалық және геологиялық инженерия. – 2019. – Т. 37. – Шығ. 5. – Б. 3727-3737 (ағылшын тілінде)
7. Zhuang X., Chun J., Zhu H. Тау жыныстары сынғыш материал үшін толтырылмаған және толтырылған жарықшақтардың таралуын салыстырмалы зерттеу. // Теориялық және қолданбалы сыну механикасы. – 2014. – Б. 110-120 (ағылшын тілінде)
8. Songfeng Guo, Shengwen Qi, Yu Zou, Bowen Zheng. Бір осьті сығылу кезінде гетерогенді сынғыш жыныстардың немесе тау жыныстарына ұқсас материалдардың бұзылу процесін сандық зерттеулер. // Материалдар. – 2017. – №10(4). – Б. 378 (22 p.) (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Tutanov S.K., Demin V.F., Zhurov V.V., Demin V.V. Ocenka problemy sovershenstvovaniya krepneniya gornyx vyrabotok [Evaluation of the problem of improving the fastening

- of mine workings]. // *Trudy universiteta = Proceedings of the University*. – Karaganda: KarTU, 2008. – №3. – P. 36-39 (in Russian)
2. Kirichenko V.Ya., Bondarenko V.I. *Tendenciya razvitiya sredstv krepleniya podgotovitel'nyx vyrabotok na ugol'nyx shaxtax Ukrainy [Tendency in the development of fastening means for preparatory workings at coal mines in Ukraine]*. // *Shkola podzemnoj razrabotki: Materialy mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. = School of Underground Mining: Proceedings of the Intern. scientific-practical. conf.* – Dnipro: LizunovPres, 2011. – P. 75-80 (in Russian)
  3. Tacienco V.P., Gogolin V.A., Ermakova I.A., Lesin Yu.V., Liskovec A.S. *Raschet krepki s uchetom tamponazha zakrepnogo prostranstva [Calculation of the lining, taking into account the plugging of the fixed space]*. // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. – 2019. – P. 75-81 (in Russian)
  4. Demin V.F., Yavorskij V.V., Demina T.V. *Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya prikonturnogo massiva vokrug vyemochnyx vyrabotok v zavisimosti ot vliyaniya gorno-texnologicheskix faktorov [Investigation of the stress state of the contour mass around the excavation workings depending on the influence of mining and technological factors]*. // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyx i fundamental'nyx issledovanij = International Journal of Applied and Fundamental Research*. – 2015. – №7-2. – P. 196-200 (in Russian)
  5. Bajkenzhin M.A., Asanova Zh.M. *Povyshenie nesushhej sposobnosti shaxtnoj ramnoj krepki putem primeneniya usilitelej profilej metallicheskogo prokata [Increasing the bearing capacity of the mine frame support by using reinforcements for rolled metal profiles]*. // *Gornyj zhurnal = Mining Journal*. – 2021. – №5. – P. 36-41 (in Russian)
  6. Shaohui Wang, Wei Zhou, Qingxiang Cai, Xuyang Shi, Xiang Lu, Boyu Luan. *The Coal Mining Model Under Slippery Slope in Yiminhe Open Pit Coal Mines*. // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2019. – Vol. 37. – Issue 5. – P. 3727-3737 (in English)
  7. Zhuang X., Chun J., Zhu H. *A comparative study on unfilled and filled crack propagation for rock-like brittle material*. // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. – 2014. – №72(1). – P. 110-120 (in English)
  8. Songfeng Guo, Shengwen Qi, Yu Zou, Bowen Zheng. *Numerical Studies on the Failure Process of Heterogeneous Brittle Rocks or Rock-Like Materials under Uniaxial Compression*. // *Materials*. – 2017. – №10(4). – P. 378 (22 p.) (in English)

#### Сведения об авторах:

**Байкенжин М.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [mbmqm@mail.ru](mailto:mbmqm@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7345-3375>

**Асанова Ж.М.**, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [zhanar-a@bk.ru](mailto:zhanar-a@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1169-8729>

**Абдибаитов Ш.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У. Асаналиева (г. Бишкек, Кыргызстан), [abdibaitov69@bk.ru](mailto:abdibaitov69@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0002-8874-4041>

**Нокина Ж.Н.**, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [zh.nokina@mail.ru](mailto:zh.nokina@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0086-4293>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Байкенжин М.А.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Асанова Ж.М.**, «Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Абдибаитов Ш.А.**, техника ғылымдарының кандидаты, Академик Ө.Асаналиев атындағы Қырғыз мемлекеттік геология, тау-кен ісі және табиғи ресурстарды игеру университеті, «Пайдалы қазбалар кенорындарын жерасты өндіру» кафедрасының доценті (Бишкек қ., Кыргызстан)

**Нокина Ж.Н.**, «Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Технологиялық жабдық, машинажасау және стандарттау» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Baikenzhin M.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department at the «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Asanova Zh.M.**, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Abdibaitov Sh.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department «Underground mining of mineral deposits» of the Kyrgyz State University of Geology, Mining and Natural Resources Development named Academician U. Asanaliyev (Bishkek, Kyrgyzstan)

**Nokina Zh.N.**, Senior Lecturer at the Department «Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization» of the Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.03.17

\*А.С. Серикканов, К.С. Жолдыбаев, Д.О. Кантарбаева, Б.Н. Мукашев  
Физико-технический институт Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## МЕТОД ШЛАКОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

**Аннотация.** Солнечная энергетика на текущий момент – самый быстроразвивающийся сектор энергетики. Солнечные электростанции успешно конкурируют с традиционными источниками энергии по стоимости за единицу генерируемой энергии. Данная статья посвящена одному из методов очистки кремния без газовой фазы, для очистки использовался метод шлакового рафинирования. Очистка металлургического кремния проводилась шлаковым методом. Был исследован металлургический кремний, полученный классическим карботермическим методом. Затем была опробована металлургическая очистка шлаковым рафинированием, с использованием шлаков различного состава. Всего было рассчитано 9 различных новых составов для проведения 9 процессов шлакового рафинирования. Кремний, полученный в результате всех проведенных плавов, был проанализирован на содержание примесей.

**Ключевые слова:** металлургический кремний, фотоэнергетика, шлаковое рафинирование, шлак, элементный анализ, солнечная энергетика, шихта, индукционная печь, фотовольтаика, изложница.

### Металлургиялық кремнийді тазартуға арналған шлақтық рафинадтау әдісі

**Аңдатпа.** Күн энергиясы ең қарқынды дамып келе жатқан энергетика саласы болып табылады. Іс жүзінде орнатылған қуаттар дамудың барлық болжамдарынан жоғары, сонымен қатар, күн электр станциялары өндірілген энергия бірлігінің құны бойынша дәстүрлі энергия көздерімен сәтті бәсекелеседі. Бұл мақала кремнийді газды фазасыз тазарту әдістерінің біріне арналған, тазалау үшін кожды тазарту әдісі қолданылды. Металлургиялық кремнийді тазарту шлақтық әдіспен жүргізілді. Классикалық карботермиялық әдіспен алынған металлургиялық кремний зерттелді. Содан кейін әртүрлі құрамдағы шлактарды пайдалана отырып, шлақты рафинадтау арқылы металлургиялық тазарту сынақтан өткізілді. Шлақтық рафинадтаудың 9 процесін жүргізу үшін барлығы 9 түрлі жана құрам есептелді. Барлық жүргізілген балқытулар нәтижесінде алынған кремний қоспалардың құрамына талданды.

**Түйінді сөздер:** металлургиялық кремний, фотоэнергетика, шлақтық рафинадтау, шлак, элементтік талдау, күн энергетикасы, шихта, индукциялық пеш, фотовольтаика, құймақалып.

### Silicon purification by slag refining method

**Abstract.** Solar energy is the fastest growing branch of energy. Installed capacities are in fact ahead of all development forecasts, in addition, solar power plants successfully compete with traditional energy sources in terms of cost per unit of generated energy. This article is devoted to one of the methods of silicon purification without a gas phase, the slag refining method was used for purification. This paper presents the results of testing the first phase of metallurgical silicon purification. Purification was carried out by a slag refining method. Metallurgical silicon produced by the classical carbothermic method was investigated. Then a metallurgical purification by slag refining was tried, using slags of different composition. A total of 9 different new compositions were calculated for 9 slag refining processes. Silicon obtained as a result of all melts was analyzed for impurities.

**Key words:** metallurgy-grade silicon, photovoltaic, slag refining, slag, elemental analysis, solar energy, charge, induction furnace, photovoltaics, casting-form.

### Введение

На сегодняшний день солнечная энергетика является самой быстроразвивающейся отраслью энергетики. Установленные мощности по факту опережают все прогнозы развития, кроме того, солнечные электростанции успешно конкурируют с традиционными источниками энергии по стоимости за единицу генерируемой энергии. Согласно обзору мирового рынка «солнечной» энергетики, за 2020 г. было установлено и подключено, в общей сложности, 756 ГВт установок преобразования солнечной энергии. Несмотря на «локдауны» в связи с Covid-19, спада рынка фотовольтаики<sup>1</sup> в 2020 г. не наблюдалось. Быстрорастущая конкурентоспособность солнечной энергии является одним из основных факторов развития в энергетическом

секторе за последние годы. По причине усовершенствования технологий как по очистке кремния, так и по созданию «солнечных» элементов (СЭ), наблюдается значительное уменьшение цены на «солнечную» электроэнергию<sup>2</sup>, которая снизилась на 10% по сравнению с 2019 г. В 2020 г. цена электроэнергии, генерируемой за счет солнечных панелей, снизилась по сравнению с ветровой<sup>3</sup>. Несмотря на многочисленные исследования и новые материалы, используемые для создания солнечных элементов, кремний остается самым востребованным сырьем в солнечной энергетике. В настоящее время доля СЭ, созданных на базе кристаллического кремния, составляет порядка 95% против 5%, созданных на основе тонкопленочных технологий<sup>4-5</sup>. Стоимость солнечного

элемента значительно зависит от цены кремния, поскольку она составляет 70-75% стоимости СЭ. Для дальнейшего снижения цен СЭ, кроме усовершенствования технологии производства и уменьшения толщины пластин кремния, необходимы исследования и разработки по получению и очистке кремния, используемого как сырье для производства СЭ на базе кристаллического кремния.

### Материалы и методы

Данная статья посвящена одному из методов очистки кремния без газовой фазы – методу шлакового рафинирования. Металлургические методы или, как их часто называют в литературе, физические, полностью исключают использование хлорсиланов<sup>5</sup> [1]. Достижение необходимой чистоты кремния осуществляется путем использования высокочистых

<sup>1</sup>International technology roadmap for photovoltaic (ITRPV). / VDMA Photovoltaic Equipment [electronic resource]. – Germany, 2020. – 12 edition. URL: <https://itrvp.vdma.org/en/> (дата обращения 01.11.2022).

<sup>2</sup>A strategic research agenda for photovoltaic solar energy technology. // Photovoltaic technology platform, European communities [electronic resource]. – 2007. URL: [www.euplatform.org/](http://www.euplatform.org/) (дата обращения 01.11.2022).

<sup>3</sup>DeCeuster D. High efficiency solar cells: promise and realization. // In: Proceedings of 20th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes. – Breckenridge (Colorado, USA), 2010.

<sup>4</sup>Cecaroli B., Lohne B. Solar Grade Silicon Feedstock. / Elkem solar, metallurgical solar silicon: third silicon conference, Munich, 2006.

<sup>5</sup>Aulich H. Solar grade silicon production and processing technology. // In: Proceedings of 20th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes. – Breckenridge (Colorado, USA), 2010.

исходных веществ: кварца и углерода с последующим применением металлургических и физико-химических переделов. Поэтому в мире планируется в краткий период увеличить производство «солнечного» кремния металлургическими методами, а их развитию и широкомасштабному использованию уделяется большое внимание. Так, например, компании Elkem (Норвегия), Waker (Германия), PhotoSil (Франция), SolSilc (Голландия), CaliSolar (США), CPI (США) и Semco Engineering (Франция) реализовали пилотные и/или промышленные проекты получения SOG-Si такими методами.

На основании результатов, приведенных в литературных источниках<sup>3,6</sup> [2], а также ряда проведенных авторами предварительных исследований по данной тематике [3-5], дальнейшие работы по отработке и усовершенствованию технологий получения и очистки кремния до «солнечного» качества имеют перспективное и стратегическое значение для кремниевой промышленности Казахстана.

### Результаты

Для проведения работ по очистке был использован Mg-Si, полученный широко известным методом карботермического восстановления. Использовался Mg-Si марки КР-0 в количестве 100 кг (ООО «РУСАЛ Кремний Урал»), примесный состав исходного металлургического кремния показан в табл. 1. Mg-Si массово производится по всему миру, но по причине недостаточной чистоты не может быть напрямую использован в качестве сырья для производства СЭ. Данный материал был выбран для экспериментальных работ по очистке по причине большей доступности данного материала. Весь кремний был издроблен до фракции не более 15 мм на дробильном аппарате Pulverisette 1, затем из него были отобраны пробы для проведения элементного анализа на определение примесей в исходном Mg-Si.

Элементный анализ всех проб для получения наиболее достоверной

Таблица 1  
Примесный состав исходного металлургического кремния

Кесте 1

Бастапқы металлургиялық кремнийдің қоспалық құрамы

Table 1

Impurity composition of the original metallurgical silicon

Наименование пробы	Al	Fe	Ca	In	Ga	As	B	P
	ppmw							
Mg-Si исходный	1277	1551	1821	11	43	–	31	27

Таблица 2

Состав шихты для проведения процессов шлакового рафинирования

Кесте 2

Қожды тазартудың процесін жүргізуге арналған шихтаның құрамы

Table 2

The composition of the charge for carrying out processes of slag refining

Плавка		CaO	SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Плавка №1	%	40	50	10	–	–	–
	кг	2	2,5	0,5	–	–	–
Плавка №2	%	60	30	10	–	–	–
	кг	3	1,5	0,5	–	–	–
Плавка №3	%	–	60	–	40	–	–
	кг	–	3	–	2	–	–
Плавка №4	%	10	50	10	30	–	–
	кг	0,5	2,5	0,5	1,5	–	–
Плавка №5	%	70	30	–	–	–	–
	кг	3,5	1,5	–	–	–	–
Плавка №6	%	40	40	–	–	20	–
	кг	2	2	–	–	1	–
Плавка №7	%	40	40	–	–	–	20
	кг	2	2	–	–	–	1
Плавка №8	%	40	40	–	–	10	10
	кг	2	2	–	–	0,5	0,5
Плавка №9	%	30	40	10	–	10	10
	кг	1,5	2	0,5	–	0,5	0,5

информации проводился двумя методами: атомно-эмиссионной спектроскопии с высокочастотной индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП) на спектрометре Optima 2000DV (Perkin Elmer) и рентгенфлуоресцентным методом (РФА) на приборе РЛП-21 (Аспап-Гео). Для определения были выбраны основные легирующие примеси (бор, фосфор, мышьяк, галлий и индий) и примеси металлов, оказывающих значительное негативное влияние на характеристики СЭ [4]. После дробления кремний был перемешан и разделен

на 9 частей для проведения 9 процессов шлакового рафинирования.

На базе проводившихся ранее исследований [3, 4] были выполнены расчеты по составу шихты для 9 процессов шлакового рафинирования. Плавку кремния проводили в индукционной печи «Параллель» ИПТ-100-2,4-0,075-Г-УХЛ4 мощностью 100 кВт с графитовым тиглем емкостью 60 л (рис. 1).

В качестве флюсов использовались смеси CaO, SiO<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При взаимодействии с примесью шлак может подниматься на поверхность расплавленного

<sup>6</sup>Kirscht F., Heuer M., Käs M., Rakotoniaina J.P., Jester T. Metallurgically refined silicon for photovoltaics. / Proc. 6th Internat Workshop on Crystalline Silicon for Solar Cells (CSSC-6). – Aix-les-Bains (France): Institute National de L'Énergie Solaire, 2012.

кремния, либо оседать на дно тигля и легко удаляться. Практика показала, что таким способом также можно удалять такие элементы как *B, Al, P, S, Ga, Ge, Sr*. Было проведено 9 процессов шлакового рафинирования с различным составом шихты для получения очищенного *Mg-Si* (*UMg-Si*). Разная шихта использовалась для определения более приемлемого состава, который покажет лучшую эффективность очистки. Состав проведенных плавков представлен в табл. 2.

После проведения шлакового рафинирования из каждой плавки были отобраны пробы для определения количества примесей в полученном кремнии (табл. 3). Для всех процессов шлакового рафинирования масса *Mg-Si* составляла 5 кг, отношение шлака к кремнию – 1:1.

*Технологический регламент всех плавков был следующим:*

- разогрев графитового тигля в печи до температуры 1200-1300°C;
- загрузка *Mg-Si* в объеме 1/3 от всей навески + 1/3 от добавляемой шлаковой смеси;
- плавление загруженной шихты;
- загрузка *Mg-Si* в объеме 1/3 от всей навески + 1/3 от добавляемой шлаковой смеси;
- плавление загруженной шихты;
- загрузка *Mg-Si* в объеме 1/3 от всей навески + 1/3 от добавляемой шлаковой смеси;
- плавление загруженной шихты;
- слив в графитовую изложницу.

Один из полученных слитков показан на рис. 2.

#### Обсуждение результатов

Негативное влияние различных элементов на характеристики солнечных элементов достаточно хорошо изучено, начиная с 80-х годов прошлого столетия. Результаты анализа (табл. 1) показали, что исходный *Mg-Si* содержит значительное количество примесей и не может быть использован в качестве сырья для производства «солнечного» кремния, требуется очистка до качества *UMg-Si*.

Для проведения процессов шлакового рафинирования выполнялись расчеты по составу шихты

Таблица 3

*Примесный состав кремния после шлакового рафинирования*

Кесте 3

*Шлақты тазартудан кейінгі кремнийдің қоспалық құрамы*

Table 3

*Impurity composition of silicon after slag refining*

Наименование пробы	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Ca</i>	<i>In</i>	<i>Ga</i>	<i>As</i>	<i>B</i>	<i>P</i>
	ppmw							
Плавка №1	44	3890	708	5	111	–	12	58
Плавка №2	148	980	3379	1	28	–	12	37
Плавка №3	1295	2029	785	2	13	0,2	9	27
Плавка №4	184	2509	3396	8	96	0,074	9,5	56
Плавка №5	1802	2880	1018	14	84	0,384	11	43
Плавка №6	202	2542	921	8	70	0,053	11	49
Плавка №7	624	1868	1119	4	51	1,5	11	41
Плавка №8	593	1862	900	1,5	46	2,5	9	34
Плавка №9	30	2296	400	2,8	52	2,2	7	35

и операции, позволяющие реализовать следующие задачи: получение гомогенной фазы кремния; определение параметров плавки, количества шлака, отношения шлака к кремнию, количества и оптимального избытка *SiO<sub>2</sub>*, на образование гомогенной фазы кремния (модуль основности), порядка ввода шихты в расплав (технический регламент плавки) для полного расплавления составляющих шихты и кремния, и получения максимального выхода конечного продукта.

В среднем, выход очищенного кремния составил 4 кг, т. е. 80% от

массы загружаемого для очистки кремния (от 70% до 99%). По результатам проведенных процессов шлаковой очистки от примесей видно, что наиболее удачные – плавки №3, №8 и №9 (табл. 2). Следует отметить, что основной целью очистки являлась очистка от примеси бора<sup>7</sup>, имеющей коэффициент сегрегации 0,8-0,82. По причине высокого коэффициента сегрегации бор значительно меньше других примесей удаляется в процессе выращивания кристаллов кремния, порядка 80% бора переходит из расплава в кристалл<sup>7</sup>.



Рис. 1. Внешний вид индукционной печи «Параллель» при проведении шлакового рафинирования.

Сурет 1. Қожды тазарту кезіндегі «Параллель» индукциялық пешінің сыртқы көрінісі.

Figure 1. External view of the induction furnace «Parallel» during slag refining.

<sup>7</sup>Coletti G., *Impurities in silicon and their impact on solar cell performance.* / PhD Thesis. – Netherlands: Utrecht University, 2011.

Остальные примеси переходных металлов имеют коэффициенты сепарации порядка  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  и достаточно хорошо удаляются на этапе выращивания кристаллов кремния при направленной кристаллизации по методу Стокбаргера-Бриджмена. Достаточно высокое содержание фосфора, в свою очередь, может быть нивелировано примесью галлия без оказания дополнительных негативных эффектов на характеристики как кремния, так и солнечных элементов.

### Заключение

В ходе проведенных исследовательских работ по очистке кремния металлургическими методами была отработана процедура проведения процесса шлаковой очистки металлургического кремния в индукционной печи с оптимальными параметрами. Определены оптимальные

составы шихты для металлургической очистки кремния.

Показано, что при выбранных режимах работы можно получать стабильные результаты по получению слитков очищенного кремния с достаточным выходом кремния по массе – до 99%. Кроме того, используемые для очистки составы шихты позволяют снизить концентрацию легирующей примеси бора в 3-5 раз. Элементные анализы, проведенные методами РФА и АЭС-ИСП позволяют контролировать процесс очистки на каждом этапе и получать достоверные результаты по контролируемым примесям.

Результаты работ [3, 4] показывают, что полученный кремний имеет достаточную чистоту для проведения следующих этапов очистки методами кислотного выщелачивания и направленной кристаллизации.



**Рис. 2. Слиток очищенного кремния, полученного после процесса шлакового рафинирования.**

**Сурет 2. Қожды тазарту процесінен кейін алынған тазартылған кремнийдің күймасы.**

**Figure 2. Ingot of purified silicon obtained after the slag refining process.**

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Peter K., Korcesek R., Soiland A., Enebak E. Будущий потенциал для сырья SoG-Si из металлургического технологического маршрута. // Труды 23-й Европейской конференции по фотоэлектрической солнечной энергии. – Валенсия (Испания), 2008. – С. 947-950 (на английском языке)
2. Johnston M., Varati M. Распределение примесных элементов в равновесии шлак-кремний при окислительном рафинировании металлургического кремния для применения в солнечных элементах. // Солнечные энергетические материалы и солнечные элементы. – 2010. – №94. – С. 2085-2090 (на английском языке)
3. Mukashev B.N., Abdullin Kh. A., Tamendarov M.F., Turmagambetov T.S., Beketov B.A., Page M.R., Kline D.M. Металлургический маршрут для производства улучшенного кремния и моносилана. Солнечные энергетические материалы и солнечные батареи. – 2009. – №93/10. – С. 1785-1791 (на английском языке)
4. Kalygulov D., Klinovitskaya I., Turmagambetov T., Pavlov A., Plotnikov S., Mukashev B., Serikkanov A., Agabekov Zh., Kantarbaeva D. Высокотехнологичное производство фотоэнергии в Казахстане на базе Сарыкольского кварцевого месторождения. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Физико-математическая серия. – 2019. – Т. 3. – №325. – С. 120-129 (на английском языке)
5. Betekbaev A.A., Mukashev B.N., Pelissier L., Lay P., Fortin G., Bounaas L., Skakov D.M., Pavlov A.A. Оптимизация легирования слитков кремния солнечного качества (SOG) для увеличения выхода слитков и эффективности элементов. // Современные электронные материалы. – 2016. – №2. – С. 61-65 (на английском языке)

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Peter K., Korcesek R., Soiland A., Enebak E. Металлургиялық процестен SoG-Si шикізатының болашақ әлеуеті. // Фотоэлектрлік күн энергиясы бойынша 23-ші Еуропалық конференция материалдары. – Валенсия (Испания), 2008. – Б. 947-950 (ағылшын тілінде)
2. Johnston M., Varati M. Күн батареяларын қолдану үшін металлургиялық кремнийді тотықтырғыш тазарту кезінде шлак-кремний тепе-теңдігінде қоспа элементтерінің таралуы. // Күн энергиясының материалдары және күн батареялары. – 2010. – №94. – Б. 2085-2090 (ағылшын тілінде)
3. Mukashev B.N., Abdullin Kh. A., Tamendarov M.F., Turmagambetov T.S., Beketov B.A., Page M.R., Kline D.M. Жақсартылған кремний мен моносилан өндірудің металлургиялық жолы. Күн энергиясының материалдары және күн батареялары. – 2009. – №93/10. – Б. 1785-1791 (ағылшын тілінде)

4. Kalygulov D., Klinovitskaya I., Turmagambetov T., Pavlov A., Plotnikov S., Mukashev B., Serikkanov A., Agabekov Zh., Kantarbaeva D. Сарыкөл кварц кен орны негізінде Қазақстанда жоғары технологиялық фотоэлектрлік өндіріс. // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының материалдары. Физика және математика сериясы. – 2019. – Т. 3. – №325. – Б. 120-129 (ағылшын тілінде)
5. Betekbaev A.A., Mukashev B.N., Pelissier L., Lay P., Fortin G., Bounaas L., Skakov D.M., Pavlov A.A. Құйма шығымдылығын және ұяшық тиімділігін арттыру үшін күн сәулесінің кремний (SOG) құймаларын қоспалауды оңтайландыру. // Қазіргі электронды материалдар. – 2016. – №2. – Б. 61-65 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Peter K., Kopecek R., Soiland A., Enebakk E. Future potential for SoG-Si raw materials from the metallurgical process route. // Proceedings of the 23rd European Conference on Photovoltaic Solar Energy. – Valencia (Spain, 2008. – P. 947-950 (in English)
2. Johnston M., Barati M. Distribution of impurity elements in slag silicon equilibria for oxidative re-finishing of metallurgical silicon for solar cell applications. // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2010. – №94. – P. 2085-2090 (in English)
3. Mukashev B.N., Abdullin Kh. A., Tamendarov M.F., Turmagambetov T.S., Beketov B.A., Page M.R., Kline D.M. A metallurgical route to produce upgraded silicon and monosilane. // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2009. – №93/10. – P. 1785-1791 (in English)
4. Kalygulov D., Klinovitskaya I., Turmagambetov T., Pavlov A., Plotnikov S., Mukashev B., Serikkanov A., Agabekov Zh., Kantarbaeva D. High-tech production of photo-energy in Kazakhstan based on the Sarykol quartz deposit. News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan. Physico-mathematical series. – 2019. – Vol. 3. – №325. – P. 120-129 (in English)
5. Betekbaev A.A., Mukashev B.N., Pelissier L., Lay P., Fortin G., Bounaas L., Skakov D.M., Pavlov A.A. Doping optimization of solar grade (SOG) silicon ingots for increasing ingot yield and cell efficiency. // Modern Electronic Materials. – 2016. – №2. – P. 61-65 (in English)

## Сведения об авторах:

**Серикканов А.С.**, канд. физ.-мат. наук, директор Физико-технического института Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [abay@sci.kz](mailto:abay@sci.kz); <https://orcid.org/0000-0001-6817-9586>

**Жолдыбаев К.С.**, младший научный сотрудник Физико-технического института Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [gaisin\\_90@mail.ru](mailto:gaisin_90@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0208-9104>

**Кантарбаева Д.О.**, младший научный сотрудник Физико-технического института Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [dinara@sci.kz](mailto:dinara@sci.kz); <https://orcid.org/0000-0003-3891-8733>

**Мукашев Б.Н.**, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Физико-технического института Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), академик Национальной академии наук Республики Казахстан (г. Алматы, Казахстан), [mukashev2005@mail.ru](mailto:mukashev2005@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1391-2733>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Серикканов А.С.**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, Физика-техникалық институтының директоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Жолдыбаев К.С.**, Satbayev University, Физика-техникалық институтының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

**Кантарбаева Д.О.**, Satbayev University, Физика-техникалық институтының кіші ғылыми қызметкері

**Мукашев Б.Н.**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Satbayev University, Физико-техникалық институтының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының академигі (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about authors:

**Serikkanov A.S.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director at the Institute of Physics and Technology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Zholdybayev K.S.**, Junior Scientist at the Institute of Physics and Technology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Kantarbayeva D.O.**, Junior Researcher at the Institute of Physics and Technology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Mukashev B.N.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Scientist at the Institute of Physics and Technology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)

*Результаты исследований получены в рамках проекта AP08856059 «Оптимизация структуры тонких пленок для изготовления солнечных элементов на гибкой подложке», финансируемого Комитетом науки МОН РК.*

Код МРНТИ 30.17.51

M.E. Isametova, \*G.S. Abilezova, Kh.A. Akhmedov

Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

## COMPUTER SIMULATION OF LIQUID KINEMATICS IN A CENTRIFUGAL PUMP AND VERIFICATION OF CALCULATION RESULTS WITH EXPERIMENTAL DATA

**Abstract.** The object of research is a multistage centrifugal pump for pumping water. The authors presented a method for hydrodynamic calculation of the flow kinematics in a centrifugal wheel, pressure characteristics of the pump. The calculations were carried out according to the passport data for the entire working area of the pump. In order to verify and verify the adequacy of the flow model, the results of pressure and efficiency factor were obtained experimentally on an automated hydraulic stand. The article presents a methodology for testing the pump and determining the measurement error. Calculation results are in satisfactory agreement with the passport data (within 3%). However, at low feeds, the real pressure characteristic has a «sinking» section, which is explained by manufacturing errors of the centrifugal wheel.

**Key words:** centrifugal pump, pump characteristics, three-dimensional model, numerical simulation, experiment, measuring instruments, computer modeling, fluid kinematics, hydrodynamic calculation and pump testing.

### Компьютерное моделирование кинематики жидкости в центробежном насосе и верификация результатов расчета с экспериментальными данными

**Аннотация.** Объектом исследования является многоступенчатый центробежный насос для перекачки воды. Авторами приведена методика гидродинамического расчета кинематики потока в центробежном колесе, напорных характеристик насоса. Расчеты проводились согласно паспортным данным на всей рабочей зоне насоса. С целью верификации и проверки адекватности модели течений результаты напора и коэффициент полезного действия были получены экспериментальным путем на автоматизированном гидравлическом стенде. В статье приведена методика проведения испытаний насоса и определения погрешности измерений. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с паспортными данными (в пределах 3%). Однако, при малых подачах реальная напорная характеристика имеет «западающий» участок, что объясняется погрешностями изготовления центробежного колеса.

**Ключевые слова:** центробежный насос, характеристики насоса, трехмерная модель, численное моделирование, эксперимент, средства измерения, компьютерное моделирование, кинематика жидкости, гидродинамический расчет и испытание насоса.

### Орталықтан тепкіш сорғыдағы сұйықтық кинематикасын компьютерлік модельдеу және эксперименттік деректермен есептеу нәтижелерін тексеру

**Аңдатпа.** Зерттеу объектісі – суды айдауға арналған көп сатылы ортадан тепкіш сорғы. Авторлар ортадан тепкіш доңғалақтағы ағынның кинематикасының гидродинамикалық есептеу әдісін, сораптың қысым сипаттамаларын ұсынады. Есептеулер сорғының бүкіл жұмыс аймағының төлқұжат деректеріне сәйкес жүргізілді. Ағын үлгісінің сәйкестігін тексеру және тексеру үшін автоматтандырылған гидравликалық стенде басы мен тиімділігінің нәтижелері экспериментальды түрде алынды. Мақалада сорғыны сынау және өлшеу қателігін анықтау әдістемесі берілген. Есептеу нәтижелері паспорт деректерімен қанағаттанарлық (3% шегінде). Дегенмен, төмен беріліс кезінде нақты қысым сипаттамасының «шөгу» бөлімі бар, ол центрифугалық дөңгелектің өндірістік қателерімен түсіндіріледі.

**Түйін сөздер:** орталықтан тепкіш сорғы, сорғы сипаттамалары, үш өлшемді модель, сандық модельдеу, эксперимент, өлшеу құралдары, компьютерлік модельдеу, сұйықтық кинематикасы, гидродинамикалық есептеу және сорғыны сынау.

### Introduction

One of the main problems of modern mechanical engineering is resource and energy saving. This dictates the need to create more efficient machines and mechanisms, as well as the desire to minimize the costs of developing new technology. The mentioned trends in modern design fully apply to the industry of vane pumps. Optimization of the design of the pumping unit is impossible without a detailed knowledge of the pattern of three-dimensional fluid flows. The movement of fluid in the channels of these hydraulic machines is particularly complex due to the influence of the shape of the blades, rotation, turbulence, flow separations and other phenomena, and therefore the old ways of designing vane pumps use either techniques with approximate correction factors, or already existing, proven designs in as samples (similarity method) [1, 2]. The disadvantages of such design methods are: in the first case, the process is stochastic, which results in the ambiguity of empirical coefficients, and in the second case, it is impossible to obtain a complete similarity of a full-scale machine and model and take into account

complex hydrodynamic processes occurring in the pump. In order to design a pump that meets the requirements of the customer, additional refinement of the design is necessary (for example, turning the impeller [3, 4]), which leads to material and time costs. Currently, a number of application packages are used to solve the problems of flow kinematics, such as ANSYS CFX, Fluent, STAR – CD, etc., reduce production costs. But this modeling process also causes some difficulties associated with the adequacy of the mathematical models used, with the application of the computational grid of the required quality and with the degree of detail of various flow properties<sup>1</sup> [5]. A large number of publications devoted to solving these problems in turbomachines confirms the topicality of the topic.

### Relevance of the issue

The article [6] highlights the problems that arise in the numerical simulation of flows in axial and centrifugal ones. The dependence of the solution on the presence of areas of instability on the operating characteristics and the initial approximation leads the authors to the idea to start the calculation from the supply mode to the left of

<sup>1</sup>Badr H.M., Ahmed W.H. *Pumping machinery theory and practice*. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2015. – 392 p. (in English)

**Table 1**  
**The main geometric characteristics of the impeller and the properties of the working fluid**

**Кесте 1**  
**Жұмыс дөңгелегінің негізгі геометриялық сипаттамалары және жұмыс сұйықтығының қасиеттері**

**Таблица 1**  
**Основные геометрические характеристики рабочего колеса и свойства рабочей жидкости**

Number of blades	6
Impeller speed rpm	2850
Outlet wheel radius $R_2$ , mm	9
Outlet Blade Width $b_2$ , mm	0.003
Blade width at the inlet $b_1$ , mm	0.006
Liquid density, kg/m <sup>3</sup>	865.4
Dynamic viscosity, Pa·s	0.00415

the operating point of the pump, and use its result as initial conditions for determining the parameters of the next point with a lower supply, etc., until surge limit is not reached. The phenomenon of flow separation forces us not only to carefully choose a turbulent viscosity model, but also to apply difference schemes with a low scheme viscosity. In addition, numerical experiments are used to consider methods for improving the shape of the meridional contours of the turning channel to reduce energy losses in multistage pumps. The authors<sup>2</sup> are developing a new difference method for the ANSIS program that simulates spatial nonstationary viscous flows in multistage pumps, taking into account effects such as the passage of flows through the rotor channel, nonlinear loads on the blades, etc. The authors of article [7] are modeling unsteady flows in single-stage centrifugal compressor in the FlowVision software package in a volume setting. To determine the efficiency from the flow rate and acting forces, moments, the authors use the k-ε turbulent model with wall functions, the flow model in slotted seals, mesh thickening in boundary layers, and the sliding mesh model. The average flow rate at the outlet, the pressure and temperature at the inlet are chosen as boundary conditions, and the criterion for a steady flow is the equality of the flow rates at the inlet and outlet of the computational domain. In [7], the steady-state field of total pressures of a viscous incompressible fluid in a centrifugal pump MH250 is calculated using the standard k-ε turbulence model SFLOW and the model of moving coordinate systems. The purpose of this work was to determine the adequacy of a computer model for determining the pressure characteristic of a centrifugal pump.

To achieve the goal of the study, the following tasks were set:

1) build a pressure – energy characteristic  $H_{numb} = f(Q)$ , each point of which was determined using the package SFLOW based on finite volume method;

2) conduct experiments on a laboratory stand in the laboratory of KazNITU;

3) compare the obtained results of numerical simulation with experiment  $H_{numb} = f(Q)$ ;

4) analyze the reasons for possible discrepancies.

The object of the study was a centrifugal multistage pump brand STR 15. The main geometric characteristics of the impeller of the pump under study and the properties of the working fluid (water), for which the calculation was performed, are shown in table 1.

### Research methods

To conduct a numerical study of the kinematics of the flow in the flow part of the RC and determine the pressure characteristics, the licensed software package SFLOW of the university version was used. The algorithm of this software product is based on a numerical method for solving the laws of hydromechanics, the equations of motion of a viscous fluid together with the equation of continuity. When calculating numerically a system of equations is solved that describes the most general case of the motion of a liquid medium – the Navier-Stokes equations (1) together with continuity equation (2) [8, 9]. The equations are presented in abbreviated form ( $i, j = 1 - 3$ ), summation over the same indices is assumed:

$$\left(\frac{d}{dt} \times \rho u_i\right) + \left(\frac{d}{dx_j} \times \rho u_i u_j\right) = \quad (1)$$

$$= \left(-dp/dx_i + d/dx_j\right) [\mu (du_i/dx_j + du_j/dx_i)] + f_i;$$

$$\left(\frac{dp}{dt} + d/dx_j\right) \times (\rho u_j) = 0, \quad (2)$$

where:

$x_i, x_j$  – coordinate axes;

$f_i$  – a component expressing the action of mass forces.

The computer solution of these problems was carried out in the program cradle SFlow solver for time-steady spatial motion of a viscous incompressible fluid without heat transfer. The standard k-ε model was chosen as the turbulence model, turbulent flows were modeled using Reynolds equations (3) instead of equations (1), since it is extremely difficult to model turbulent flows using Navier-Stokes equations:

$$\left(\frac{d}{dt} \times \rho \bar{u}_i\right) + \left(\frac{d}{dx_j} \times \rho \bar{u}_i \bar{u}_j\right) + \left(\frac{d}{dx_j} \times \rho \overline{u_i' u_j'}\right) = \quad (3)$$

$$= \left(-dp/dx_i + d/dx_j\right) [\mu (d\bar{u}_i/dx_j + d\bar{u}_j/dx_i)] + f_i;$$

where:

$\bar{u}_i, \bar{u}_j$  – are the average values of the velocity components;

$\overline{u_i' u_j'}$  – are the pulsation components of the speeds.

To close the Reynolds equations in Credele, a number of turbulence models are used. The following assumptions were made during the numerical study:

- the flow at the entrance to the computational domain is axisymmetric;

- there is no influence of leaks through the seals of the CV on the flow in the flow path.

Carrying out computer simulation consisted of several stages: preparation of a three-dimensional geometric model of the RC, construction of a computational grid, introduction of boundary conditions for calculation and calculation itself. Finite element meshes with 400 thousand, 600 thousand and 1 million cells were built. An analysis of the values obtained from the results of numerical calculations showed that for grids with more than 600 thousand cells, the results differ by no more than 2%. This

<sup>2</sup>Ramesh S. A text book of rapid prototyping. – New Delhi (India): ANE Books, 2015. – 1st Edition. – 192 p. (in English)

result proves grid independence. Further numerical study was carried out for grids with  $\approx 600000$  cells.

After generating the meshes, the next step in the calculation was the creation of a computational domain in CFX-Pre. The border of the entrance to the RO is the border of the entrance to the impeller. The mass flow rate  $Q$  was set as the boundary condition at the inlet. The calculation was carried out for six parameters of the pump operation at the supply  $Q = 0.5; 0.7; 0.9; 1; 1.1; 1.2$ .

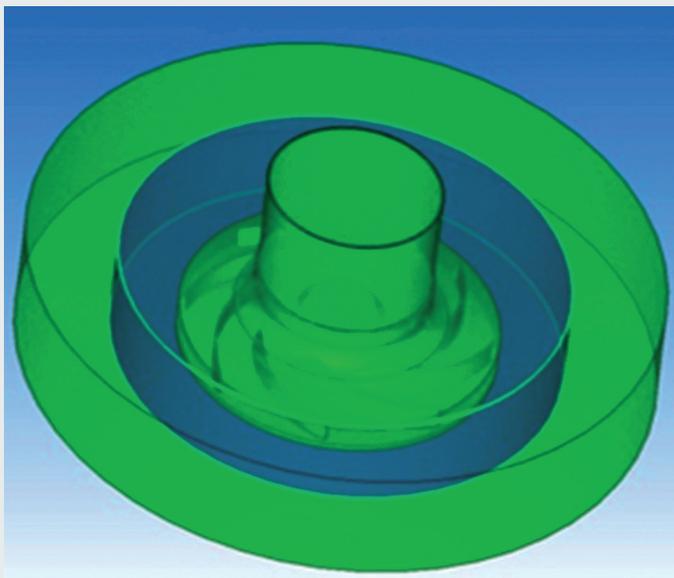
For the numerical experiment, compared with the natural one, the location of the boundary of the entrance to the working area was chosen at a distance of two diameters of the inlet pipe from the boundary of the entrance to the wheel. figure 1 shows the domain created for the wheel model.

The static pressure was set as the boundary condition at the outlet of the CR. Based on the fact that further studies and comparisons were carried out for relative values, the absolute value of pressure did not matter, and was taken equal to  $P_{out} = 1$  MPa. The type of the boundary condition was set to «open», based on the assumption that the presence of reverse flows at the exit from the working area. The wall roughness was taken as Ra3. Diagrams of pressure and absolute flow rate are shown in figure 2.

According to the results diagram, the maximum pressure occurs at the outlet of the wheel and its value is  $P = 0.0736$  MPa, given the fact that the pump design is multi-stage, consisting of five stages, and the pressure is pumped from stage to stage, the actual pressure in the discharge pipe will be equal to the product the number of steps per value according to the diagram. And so the pressure at the outlet of the pump will be equal to  $P = 0.368$  MPa, the absolute speed is  $\omega = 16.72$  m/s.

#### Testing on a laboratory stand

Experimental studies within the framework of this work were carried out on a test bench of the Mechanical Engineering Department, the schematic diagram of which is shown in figure 3.



**Figure 1. Computational grid domains.**  
**Сурет 1. Есептелген тор домендері.**  
**Рис. 1. Домены расчетной сетки.**

**Table 2**  
**Equipment used in stand automation**

**Кесте 2**  
**Стенді автоматтандыруда қолданылатын**  
**аппаратура**

**Таблица 2**  
**Аппаратура, применяемая в автоматизации стенда**

Position	Name	Quantity	Application
1	Line	1	Dy32
2	Line	2	Dy32
B	Tank	1	$V = 0,05 \text{ м}^3$
$M_1, M_2$	Manometer	2	
P	Flow meter	1	
U	Voltmeter	1	
I	Ammeter	1	
G1,G2	Gate valve	2	
H	Pump	1	STR 15
M	Electric motor	1	800 W

The stand is filled from the technical water supply and operates on a closed system of fluid circulation. The bench installation consisted of an experimental pump of the STR 15 brand with an engine, a tank with a capacity of  $0.05 \text{ м}^3$ , measuring equipment, a piping system with shut-off and control valves, and a control box.

The experimental pump was driven by an adjustable electric motor with a power of  $0.8 \text{ kW}$ . The maximum

frequency of rotation of the electric motor is 2850 rpm. The flow meter records the flow values.

The pressure difference at the inlet and outlet of the pump was controlled by digital pressure gauges. The flow of the experimental pump was regulated by a valve on the pressure pipeline. Measuring equipment (table 2) provided the possibility of taking energy characteristics in accordance with existing requirements and through wi-fi was transmitted to a stationary computer.

The flow of the experimental pump was regulated by a valve on the pressure pipeline. The measuring equipment provided the possibility of taking energy characteristics in accordance with existing requirements<sup>3</sup>. The set of measuring instruments included:

- electronic manometer of accuracy class 0.4 with a measurement limit of 0-1.6 MPa for measuring the pressure in the inlet pipe of the experimental pump;
- electronic manometer of accuracy class 0.4 with a measurement limit of 0-1.6 MPa to measure the pressure in the pressure line of the experimental pump;
- electronic flow meter with a measurement limit of 0-5 m<sup>3</sup>/h;
- frequency converter up to 3000 rpm.

#### Methodology for conducting experimental studies

In general, the methodology for testing the pump to measure their pressure and energy characteristics corresponded to the proven recommendations<sup>3</sup>. Further, only general provisions are noted in determining the quantities necessary to determine the experimental dependences:

$$H = f(Q), N = f(Q), \eta = f(Q).$$

The flow was measured by a flow meter.

The pressure of the experimental pump was calculated from the readings of pressure gauges that measured the pressure in the inlet and outlet measured sections, was calculated by formula 4:

$$H = (P_d - P_s) / \gamma, M \quad (4)$$

where:

$P_d, P_s$  – readings of pressure gauges in the suction and discharge measured sections, respectively;

$\gamma$  – specific gravity of water.

The power on the shaft of the experimental pump was determined using:

$$N_{sh} = U \times I \times \eta_{eng} \times \eta_n \times \cos\varphi \times 10^{-3}, \quad (5)$$

where:

$U$  – the voltage in the network, V;

$I$  – current strength of the consumer from the network, A;

$\eta_{eng}$  – engine efficiency,  $\eta_{eng} = 0.9$ ;

$\eta_n$  – network efficiency,  $\eta_n = 0.95$ ;

$\cos\varphi = 0.87$ .

$$\eta = 9,8QH / 3,6N_{sh}, W. \quad (6)$$

The measurement results are shown in table 3.

#### Estimation of errors in measurement results

Since the results of natural studies inevitably contain errors of various origins, it is obligatory to evaluate the accuracy of the measured values when conducting experimental studies. We can conclude that systematic errors are decisive in the experimental study of centrifugal pumps<sup>4</sup>.

Table 3

#### The measurement results

Кесте 3

#### Өлшеу нәтижелері

Таблица 3

#### Результаты измерений

$Q, m^3/h$	$P, MPa$	$H, m$	$U, V$	$I, A$	$V, m/min$
3.3	0.018	1.836735	228	3.2	1.01
3.1	0.1	10.20408	226.8	3.18	0.89
2.9	0.18	18.36735	226.3	3.15	0.77
2.5	0.28	28.57143	226	3.1	0.72
2	0.335	34.18367	225.5	3.05	0.54
1.5	0.385	39.28571	225	3	0.49

Table 4

#### Direct measurement errors

Кесте 4

#### Тікелей өлшеу қателіктері

Таблица 4

#### Погрешности прямых измерений

Measured parameter	Absolute marginal error, %	Relative marginal error, %	RMS relative error, %
Pressure drop across the pump $\Delta p_p, MPa$	0.4	0.51	0.24
Mains voltage, V	0.3	0.41	0.16
Current strength, A	0.4	0.32	0.16
Feed $Q, m^3/h$	0.4	0.2	0.1

Table 5

#### Uncertainties of indirect measurements

Кесте 5

#### Жанама өлшеу қателіктері

Таблица 5

#### Погрешности не прямых измерений

Determined value	Permissible limit error in testing, %	Relative marginal error, %	RMS relative error, %
Feed $Q, m^3/s$	3.0	1.79	0.9
Head $N, m$	3.0	0.91	0.48
Power $N, W$	3.0	1.02	0.51
Efficiency $\eta, \%$	5.0	2.14	1.07

The relative marginal error in determining the feed was determined by the formula:

$$\Delta Q = \sqrt{\delta Q^2 + \delta n^2}, \% \quad (7)$$

where:

$\delta Q^2$  – the relative limiting error of feed measurement, %;

$\delta n^2$  – relative marginal error in measuring the revolutions of the motor shaft.

<sup>3</sup>The pumps are dynamic. Test methods. / Interstate standard 6134-2007. – M.: Standartinform, 2008. – 95 p. (in Russian)

<sup>4</sup>State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurements of liquids and gases flow rate and quantity by means of orifice instruments. / Interstate standard 8.586.1-5-2005. – M.: Standartinform, 2007. – Part 5. Measurement procedure. – 143 p. (in Russian)

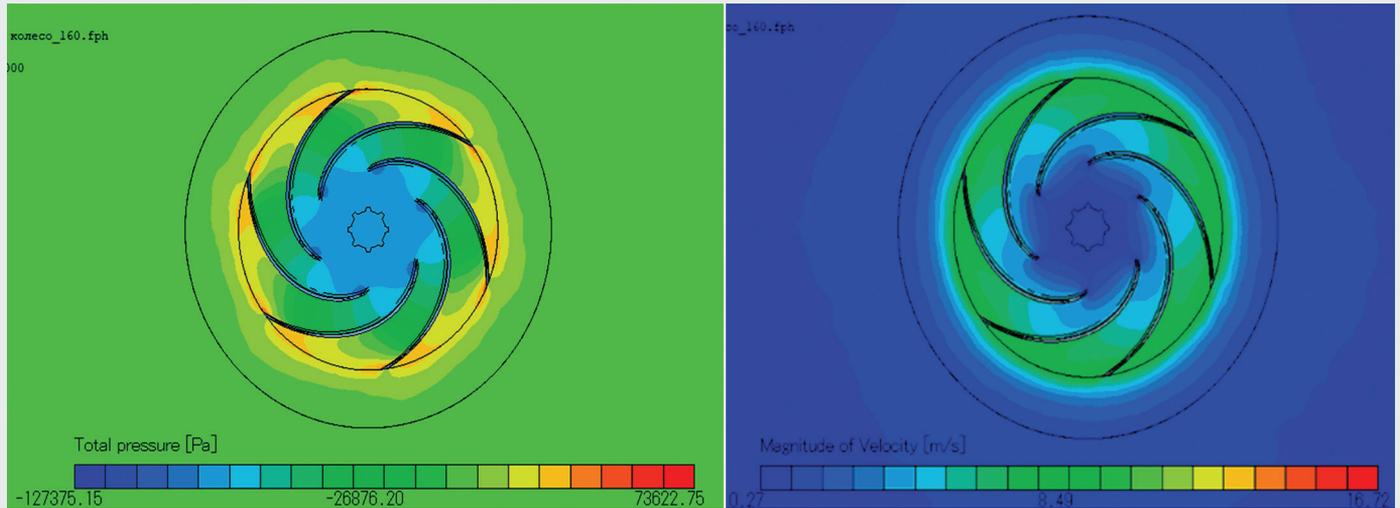


Figure 2. Computational test results.

Сурет 2. Есептеу сынақтарының нәтижелері.

Рис. 2. Результаты вычислительных испытаний.

$\sigma_Q$  is the mean square relative error of feed measurement, %, determined by the formula:

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_{K_{Re}}^2 + 1/4(\sigma_p^2)}, \% \quad (8)$$

where:

$\sigma_a$  – the mean square relative error of determining the flow meter, %;  
 $\sigma_{K_{Re}}$  – root-mean-square relative error in determining the flow rate per Reynolds number, %;  
 $\sigma_p$  – root-mean-square relative error in determining the density of water, %.

The relative limiting error in determining the pressure was determined by the formula:

$$\Delta H = \sqrt{\delta H^2 + 4\delta n^2}, \% \quad (9)$$

where  $\delta H$  is the relative limiting error of pressure measurement, calculated by the formula:

$$\delta H = 1/H \times [0,102^2/\rho^2 \times \Delta p_p^2 \times (\delta \Delta p_p^2 + \delta \Delta \rho^2) + 1,1654^2 \times (1/d_2^4 - 1/d_1^4)^2 \times Q^4 \delta Q^2], \% \quad (10)$$

where  $\delta p_p$  – the relative limiting error in measuring the pressure difference at the inlet and outlet of the pump, %.

The relative limiting error of power measurement was determined by the formula:

$$\Delta N = \sqrt{\delta U^2 + \delta I^2}, \% \quad (11)$$

where:

$\delta U$  – relative limiting error of voltage measurement, %;  
 $\delta I$  – relative limiting error of current measurement, %;

The relative limiting error in measuring the efficiency of the pump was determined by the formula:

$$\Delta \eta = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta Q^2 + \Delta H^2}, \% \quad (12)$$

The errors of direct and indirect measurements are given in tables 4 and 5.

By analyzing the data in tables 4 and 5, we can conclude that the errors in determining the pressure parameters of the experimental pump according<sup>4</sup> did not exceed the permissible limits.

**Results of experimental and numerical studies**

As a result of the numerical study of the pump, and the study on the experimental stand, pressure and energy characteristics were built (figure 4).

**Conclusions**

Analyzing the pressure and energy characteristics obtained on the experimental bench and comparing them with the results of computer simulation (figures 4), we can conclude that the difference in the results for the pressure is about 4%. In this case, the maximum efficiency values differ by 5%.

The adequacy of the computer model can be confirmed by the passport data, that is, the operating point of the pump (figure 6d) coincides with the supply data  $Q = 2.7 \text{ m}^3/\text{h}$ , head  $H = 30 \text{ m}$ .

Analyzing the difference in characteristics, it can be assumed that the most likely reason for the mismatch between the curves in modeling and experiment is the discrepancy between the geometric ideal model of the blade systems used in the calculations and actually manufactured wheels. In particular, this concerns the shape of the leading and trailing edges, the roughness of the flow path, etc. However, we can say that the discrepancy obtained is acceptable, and the result of the numerical experiment can be considered confirmed.

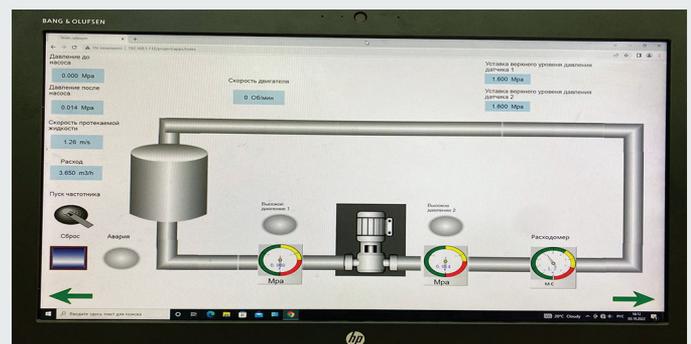
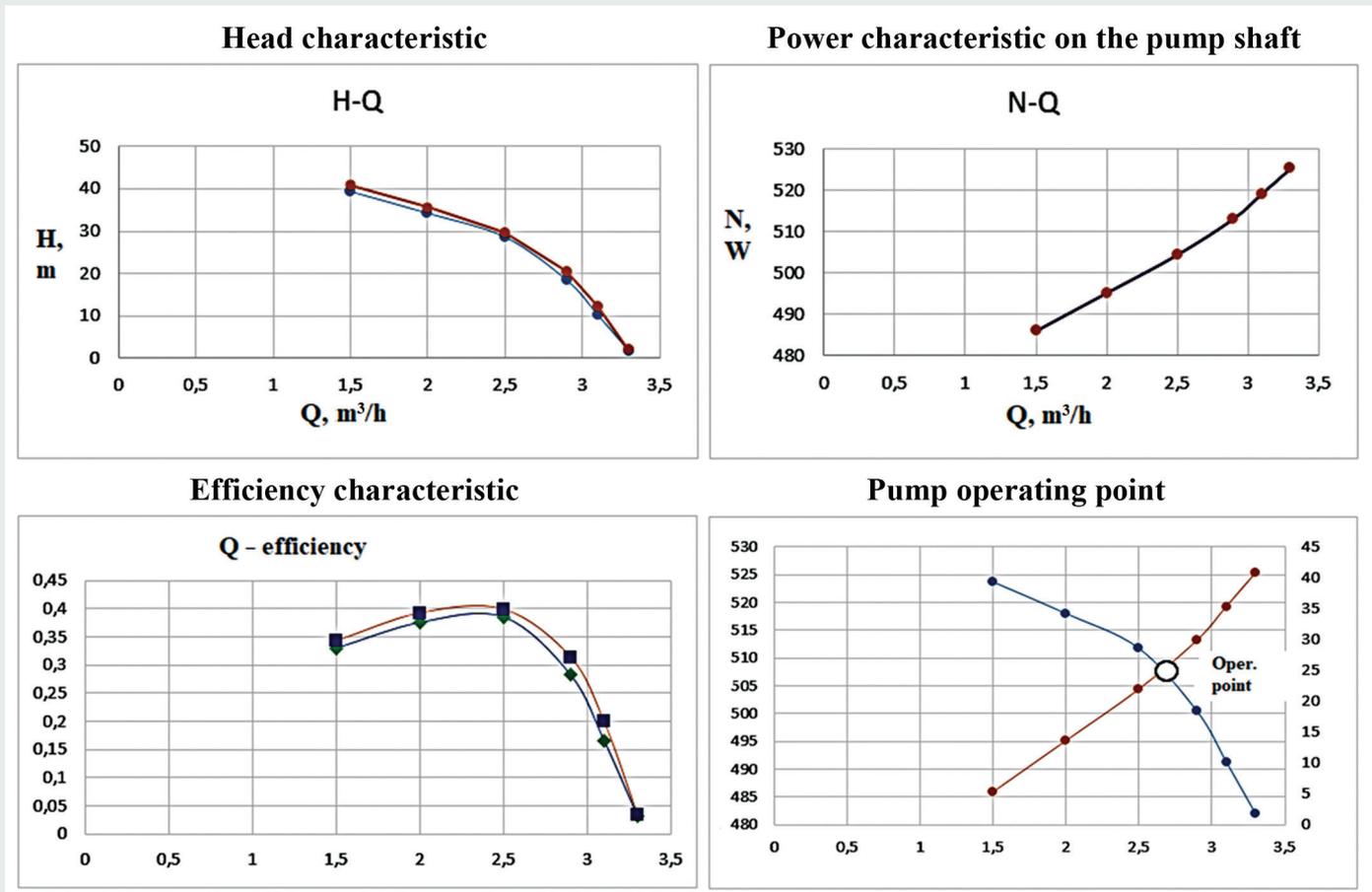


Figure 3. Scheme and indications on the laboratory bench.

Сурет 3. Зертханадағы стендтің сызбасы және көрсеткіштері.

Рис. 3. Схема и показания на лабораторном стенде.



**Figure 4. Pressure and energy characteris.**  
**Сурет 4. Қысым және энергия сипаттамалары.**  
**Рис. 4. Давление и энергетические характеристики.**

#### REFERENCES

1. Grokhovskiy D.V. Vliyanie e'kscentrisiteta, perekosa mezhstupenchatykh shhelevykh uplotnenij na dinamiku rotora [The effect of eccentricity, skew interstage gap seals on the dynamics of the rotor]. *Energomashinostroyeniye = Power plant engineering*. – 1988. – Vol. 1. – P. 18-21 (in Russian)
2. Nordmann R., Massmann H. Identification of dynamic coefficients of annular turbulent seals. // *NASA Conference Publication*. – 1984. – P. 295-312 (in English)
3. Korkmaz E., Golc M., Kurbanoglu C. Effects of blade discharge angle, blade number and splitter blade length on deep well pump performance. // *Journal of Applied Fluid Mechanics*. – 2017. – Vol. 10(2). – P. 529-540 (in English)
4. Bai Yu., Kong F., Xia B., Liu Yu. Effect of blade number matching of impeller and diffuser in high-speed rescue pump. *Advances in Mechanical Engineering*. – 2017. – Vol. 9(5). – P. 1-12 (in English)
5. Celik I.B., Ghia U., Roache P.J., Freitas C.J. Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. // *Journal of fluids engineering-transactions of the ASME*. – 2008. – Vol. 130(7). – P. 078001 (4 p.) (in English)
6. Yan Y., Li S., Zhang R., Lin F., Wu R., Lu Q. et. al. Rapid prototyping and manufacturing technology: Principle, representative technics, applications, and development trends. // *Tsinghua Science and Technology*. – 2009. – Vol. 14(S1). – P. 1-12 (in English)
7. Sen-Chun M., Zhi-Xiao S., Xiao-Hui W., Feng-Xia S., Guang-Tai S. Impeller meridional plane optimization of pump as turbine. // *Science progress*. – 2020. – Vol. 103(1). – P. 1-17 (in English)

8. Shi W., Li Q., Lu W., Zhang D. Estimation and experiment of axial thrust in centrifugal pump based on CFD. // *Nongye Jixie Xuebao: Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. – 2009. – Vol. 40(1). – P. 60-63 (in English)
9. Wang J.M., Wang P.F., Zhang X., Ruan X.D., Fu. X. An adjoint-based optimization method for reducing the axial force of a reactor coolant pump. // *Journal of Zhejiang University – SCIENCE A*. – 2019. – Vol. 20(11). – P. 852-863 (in English)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гроховский Д.В. Ротордың динамикасына эксцентриситеттің, аралық тығыздағыштардың қисаюының әсері. // *Энергетикалық машина жасау*. – 1988. – Шығ. 1. – Б. 18-21 (орыс тілінде)
2. Nordmann R., Massmann H. Сақиналы турбулентті тығыздағыштардың динамикалық коэффициенттерін анықтау. // *NASA конференциясының басылымы*. – 1984. – Б. 295-312 (ағылшын тілінде)
3. Korkmaz E., Golcui M., Kurbanoglu C. Терең ұңғыма сорғысының өнімділігіне пышақ айдау бұрышының, қалақ нөмірінің және бөлу қалақшасының ұзындығының әсері. // *Қолданбалы сұйықтық механикасы журналы*. – 2017. – Шығ. 10(2). – Б. 529-540 (ағылшын тілінде)
4. Bai Yu., Kong F., Xia B., Liu Yu. (2017). Жоғары жылдамдықты апаттық сорғыдағы жұмыс дәңгелегі мен диффузор қалақтарының санын сәйкестендіру әсері. // *Машина жасау саласындағы жетістіктер*. – 2017. – Шығ. 9(5). – Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
5. Celik I.B., Ghia U., Roache P.J., Freitas C.J. CFD қосымшаларында іріктеуден туындаған белгісіздікті бағалау және есеп беру процедурасы. // *ASME сұйықтықтар инженериясы-транзакциялар журналы*. – 2008. – Шығ. 130(7). – Б. 078001 (4 б.) (ағылшын тілінде)
6. Yan Y., Li S., Zhang R., Lin F., Wu R., Lu Q. және т.б. Жылдам прототиптеу және өндіріс технологиясы: принцип, өкілдік техника, қолдану салалары және даму тенденциялары. // *Цинхуа ғылымы мен техникасы*. – 2009. – Шығ. 14(S1). – Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
7. Sen-Chun M., Zhi-Xiao S., Xiao-Hui W., Feng-Xia S., Guang-Tai S. Турбина ретінде сорғының жұмыс дәңгелегінің меридиандық жазықтығын оңтайландыру. // *Ғылыми прогресс*. – 2020. – Шығ. 103(1). – Б. 1-17 (ағылшын тілінде)
8. Shi W., Li Q., Lu W., Zhang D. CFD негізіндегі орталықтан тепкіш сорғыдағы осьтік тартуды бағалау және тәжірибе. // *Nongye Jixie Xuebao: Қытайдың ауылшаруашылық техникасы қоғамының еңбектері*. – 2009. – Шығ. 40(1). – Б. 60-63 (ағылшын тілінде)
9. Wang J.M., Wang P.F., Zhang X., Ruan X.D., Fu. X. Реактордың салқындатқыш сорғысының осьтік күшін азайту үшін жұптастыруға негізделген оңтайландыру әдісі. // *Чжэцзян университетінің журналы – SCIENCE A*. – 2019. – Шығ. 20(11). – Б. 852-863 (ағылшын тілінде)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гроховский Д.В. Влияние эксцентриситета, перекоса межступенчатых щелевых уплотнений на динамику ротора. // *Энергомашиностроение*. – 1988. – Вып. 1. – С. 18-21 (на русском языке)
2. Nordmann R., Massmann H. Идентификация динамических коэффициентов кольцевых турбулентных уплотнений. // *Публикация конференции НАСА*. – 1984. – С. 295-312 (на английском языке)
3. Korkmaz E., Golcui M., Kurbanoglu C. Влияние угла нагнетания лопастей, количества лопастей и длины лопастей делителя на производительность глубинного насоса. // *Журнал прикладной гидромеханики*. – 2017. – Вып. 10(2). – С. 529-540 (на английском языке)
4. Bai Yu., Kong F., Xia B., Liu Yu. Эффект согласования числа лопастей рабочего колеса и диффузора в высокоскоростном спасательном насосе. // *Достижения в области машиностроения*. – 2017. – Вып. 9(5). – С. 1-12 (на английском языке)
5. Celik I.B., Ghia U., Roache P.J., Freitas C.J. Процедура оценки и отчета о неопределенности из-за дискретизации в приложениях CFD. // *Журнал гидротехники-транзакции ASME*. – 2008. – Вып. 130(7). – С. 078001 (4 с.) (на английском языке)

6. Yan Y., Li S., Zhang R., Lin F., Wu R., Lu Q. и др. Технология быстрого прототипирования и производства: принцип, репрезентативная техника, приложения и тенденции развития. // Наука и технологии Цинхуа. – 2009. – Вып. 14(S1). – С. 1-12 (на английском языке)
7. Sen-Chun M., Zhi-Xiao S., Xiao-Hui W., Feng-Xia S., Guang-Tai S. Оптимизация меридиональной плоскости рабочего колеса насоса как турбины. // Научный прогресс. – 2020. – Вып. 103(1). – С. 1-17 (на английском языке)
8. Shi W., Li Q., Lu W., Zhang D. Оценка и эксперимент осевого усилия в центробежном насосе на основе CFD. // Nongye Jixie Xuebao: Труды Китайского общества сельскохозяйственной техники. – 2009. – Вып. 40(1). – С. 60-63 (на английском языке)
9. Wang J.M., Wang P.F., Zhang X., Ruan X.D., Fu. X. Метод сопряженной оптимизации для уменьшения осевой силы ГЦН реактора. // Журнал Чжэцзянского университета – SCIENCE A. – 2019. – Вып. 20(11). – С. 852-863 (на английском языке)

#### Information about the authors:

**Isametova M.E.**, PhD, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [isametova69@mail.ru](mailto:isametova69@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

**Abilezova G.S.**, Master of Technical Sciences, Assistant at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [abilezova\\_gazel@mail.ru](mailto:abilezova_gazel@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1517-0577>

**Akhmedov Kh.A.**, PhD Student at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), [hamid1996\\_17@mail.ru](mailto:hamid1996_17@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-8098-450X>

#### Авторлар туралы мәлімет:

**Исаметова М.Е.**, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Абилезова Г.С.**, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының ассистенті (Алматы қ., Қазақстан)

**Ахмедов Х.А.**, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының PhD студенті (Алматы қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Исаметова М.Е.**, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Машиностроение» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Абилезова Г.С.**, магистр техн. наук, ассистент кафедры «Машиностроение» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

**Ахмедов Х.А.**, PhD студент кафедры «Машиностроение» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

*Research is funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan scientific project AP08857367 «Development of innovative technologies to improve the energy efficiency and reliability of centrifugal pumps manufactured in Kazakhstan».*

Код МРНТИ 52.45.94:87.15.21

\*Д.Б. Муратханов<sup>1,2</sup>, Т.А. Рахимов<sup>2</sup>, И.К. Рахметов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

<sup>2</sup>Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан)

## ПРОГНОЗ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК В ПРИБАЛХАШЬЕ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Прогнозирование распространения загрязнения подземных вод в результате эксплуатации хвостохранилища при помощи создания математической модели гидрогеологических условий прибрежной зоны озера Балхаш, прилегающей к хвостовому хозяйству Балхашской обогатительной фабрики, является важной экологической задачей этого региона. Оценка влияния хвостового хозяйства на состояние подземных и поверхностных вод осуществлялась на основании геомиграционной модели области и решения гидродинамических задач в различных вариантах их постановки. Исследуемая территория характеризуется техногенно нарушенными гидрогеологическими условиями. На состоянии подземных вод оказывают влияние хвостохранилище и пруд-накопитель, ограждающая их плотина, дренажные сооружения (расположенный параллельно озеру Балхаш дренажный канал и дренажные скважины, пробуренные около хвостохранилища). На созданной математической модели было рассчитано несколько вариантов прогноза распространения ореола загрязнения тяжелыми металлами.

**Ключевые слова:** пруд-накопитель, математическое моделирование, калибровка, геомиграционная задача, техногенные воздействия, ореол распространения, переработка, добыча, концентрация, гидрогеологический район, динамика изменения.

**Математикалық модельдеуді қолдану арқылы Балқаш өңіріндегі климаттың өзгеруіне теріс антропогендік қысымның алдын алу болжамы**

**Аңдатпа.** Балқаш кен байыту фабрикасының қалдық қоймаларымен іргелес жатқан Балқаш көлінің жағалау аймағының гидрогеологиялық жағдайларының математикалық моделін жасау арқылы қалдық қоймасының жұмысы нәтижесінде жер асты суларының ластануының таралуын болжау осы аймақ үшін маңызды экологиялық міндет болып табылады. Қалдық қоймаларының жер асты және жер үсті суларының күйіне әсерін бағалау аймақтың геомиграциялық моделі және оларды тұжырымдаудың әртүрлі нұсқаларында гидродинамикалық есептерді шешу негізінде жүргізілді. Зерттелетін аумақ техногендік бұзылған гидрогеологиялық жағдайлармен сипатталады. Жер асты суларының жай-күйіне қалдық қоймасы мен қойма тоғандары, оларды қоршап тұрған бөгет, дренаждық құрылыстар Балқаш көліне параллель орналасқан дренаждық канал және қалдық қоймаларының жанында бұрғыланған дренаждық ұңғымалар әсер етеді. Құрылған математикалық модель негізінде ауыр металдармен ластану ореолының таралуын болжаудың бірнеше нұсқасы есептелді.

**Түйінді сөздер:** сақтау қоймасы, математикалық модельдеу, калибрлеу, геомиграциялық есеп, техногендік әсерлер, таралу ореолы, өңдеу, алу, концентрация, гидрогеологиялық аймақ, өзгеру динамикасы.

**Forecast of prevention of negative anthropogenic pressures on climate change in the balkhash region using mathematical modeling**

**Abstract.** Predicting the spread of groundwater pollution as a result of the operation of the tailing dump by creating a mathematical model of the hydrogeological conditions of the coastal zone of Lake Balkhash adjacent to the tailings of the Balkhash concentrator is an important environmental task for this region. The assessment of the impact of the tailings on the state of groundwater and surface water was carried out on the basis of the geomigration model of the region and the solution of hydrodynamic problems in various versions of their formulation. The study area is characterized by technogenically disturbed hydrogeological conditions. The state of groundwater is affected by the tailings and storage pond, the dam that encloses them, drainage facilities – a drainage channel located parallel to Lake Balkhash and drainage wells drilled near the tailings. Based on the created mathematical model, several options for predicting the spread of heavy metal pollution halo were calculated.

**Key words:** storage pond, mathematical modeling, calibration, geomigration problem, technogenic impacts, distribution halo, processing, extraction, concentration, hydrogeological region, change dynamics.

### Введение

Основной вид деятельности Балхашской обогатительной фабрики – обогащение полиметаллических руд рудодобывающих предприятий. Хвостохранилище обогатительной фабрики является сооружением равнинного типа, образованным путем ограждения части территории существующего хвостохранилища дамбами. При этом образуются хвосты обогащения, в настоящее время складывающиеся в намывное хвостохранилище овражно-балочного типа, расположенное с юго-восточной стороны обогатительной фабрики на расстоянии 1 км от нее.

Гидрографическая сеть района принадлежит бассейну замкнутого бессточного озера Балхаш и расположена на южном склоне главного Центрально-Казахстанского водораздела. Активная водосборная часть, где сток формируется ежегодно, составляет 135-170 тыс. км<sup>2</sup>, что равно 33-41% от общей площади возможного стока. Площадь

зеркала воды озера меньше площади активной части бассейна стока в 8-9 раз, а по отношению ко всему бассейну – в 27 раз. Оз. Балхаш – крупный бессточный бассейн континентального типа, расположенный в наиболее низкой части Балхашской впадины на высоте 340 м. Озеро представляет собой длинный и узкий водоем площадью акватории 15500 км<sup>2</sup>. Площадь водосборного бассейна оз. Балхаш составляет 413000 км<sup>2</sup>, в том числе в пределах Республики Казахстан – 353 тыс. км<sup>2</sup> (примерно 85%). Водоразделом на севере является Каркаралы-Актауский массив, на востоке – хребты Тарбагатай и Жонгарский Алатау; на юге водораздел проходит по отрогам хребтов Терскей и Кунгей Алатау; на западе – по Шу-Илейскому водоразделу. Общая протяженность водораздельной линии<sup>1</sup> около 4000 км.

### Основные сведения исследуемого района

**Стратиграфия района.** Стратиграфический разрез района осложнен многократными проявлениями

<sup>1</sup>Смоляр В.А., Мустафаев С.Т. Гидрогеология бассейна озера Балхаш. – Алматы: Гылым, 2007. – 238 с. (на русском языке)

Таблица 1

Легенда к картам распространения ореола загрязнения подземных вод тяжелыми металлами

Кесте 1

Ауыр металдармен жер асты суларының ластануының ореол таралу карталарына аңыз

Table 1

Legend to the maps of the halo distribution of groundwater pollution by heavy metals

%	Концентрация тяжелых металлов в подземных водах, мг/л						
	Cu ПДК – 1	Pb ПДК – 0,03	Zn ПДК – 5	Cd ПДК – 0,001	Mn ПДК – 1	Se ПДК – 0,01	As ПДК – 0,05
90-100	0,36-0,364	0,478-0,6102	0,2-0,23	0,111-0,1199	25,46-25,114	0,0053-0,00507	0,01-0,009
80-90	0,404-0,328	0,7902-0,5624	0,28-0,21	0,1399-0,1088	27,314-22,568	0,00537-0,00454	0,009-0,008
70-80	0,368-0,292	0,7424-0,5146	0,26-0,19	0,1288-0,0977	24,768-20,022	0,00484-0,00401	0,008-0,007
60-70	0,332-0,256	0,6946-0,4668	0,24-0,17	0,1177-0,0866	22,222-17,476	0,00431-0,00348	0,007-0,006
50-60	0,296-0,22	0,6468-0,419	0,22-0,15	0,1066-0,0755	19,676-14,93	0,00378-0,00295	0,006-0,005
40-50	0,26-0,184	0,599-0,3712	0,2-0,13	0,0955-0,0644	17,13-12,384	0,00325-0,00242	0,005-0,004
30-40	0,224-0,148	0,5512-0,3234	0,18-0,11	0,0844-0,0533	14,584-9,838	0,00272-0,00189	0,004-0,003
20-30	0,188-0,112	0,5034-0,2756	0,16-0,09	0,0733-0,0422	12,038-7,292	0,00219-0,00136	0,003-0,002
10-20	0,152-0,076	0,4556-0,2278	0,14-0,07	0,0622-0,0311	9,492-4,746	0,00166-0,00083	0,002-0,001
0-10	0,116-0,04	0,4078-0,18	0,12-0,05	0,0511-0,02	6,946-2,2	0,00113-0,0003	0,001-0

процессов складчатости и магматизма. В основании его залегает яшмо-порфировая толща, отнесенная к синийскому возрасту (итмурундинская свита). Выше несогласно залегает серия обломочных зеленоцветных отложений палеозоя, представленных фаунистически охарактеризованными породами лудловского, жединского, кобленцкого, эйфельского, фаменского, турнейского ярусов и нижневизейского подъяруса. Венчается разрез вулканогенно-осадочными образованиями среднего визе-намюра. Палеозойские породы почти повсеместно перекрыты чехлом рыхлых кайнозойских отложений.

**Тектоника.** По особенностям геологического развития, степени дислоцированности, по формам складчатости и возрасту пород, слагающих эти формы, выделяется среднепалеозойский тектонический ярус, сформировавшийся в герцинскую эпоху тектогенеза. Особое положение над складчатыми формами указанного яруса занимают тектонические структуры саяжской свиты. Свообразие тектонического строения района определяется его расположением в пограничной зоне между среднепалеозойскими складчатыми сооружениями Северобалхашского антиклинория

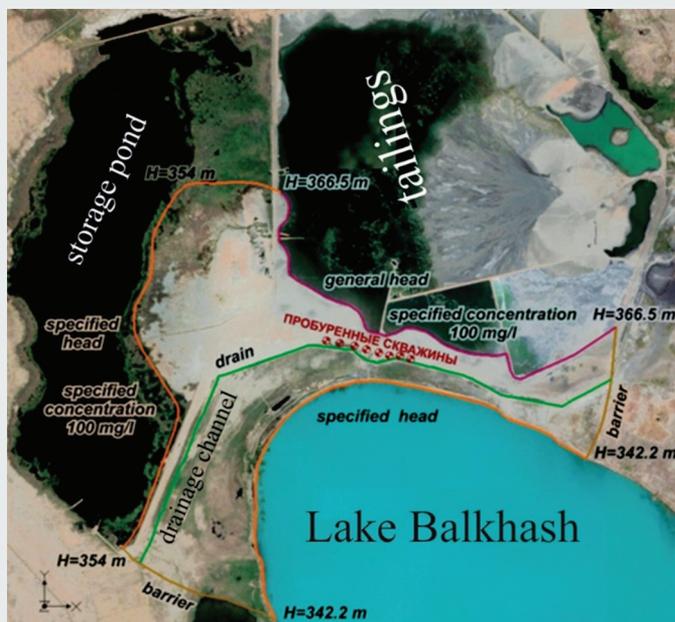


Рис. 1. Граничные условия, заданные на модели.

Сурет 1. Үлгіде көрсетілген шекаралық шарттар.

Figure 1. Boundary conditions specified on the model.

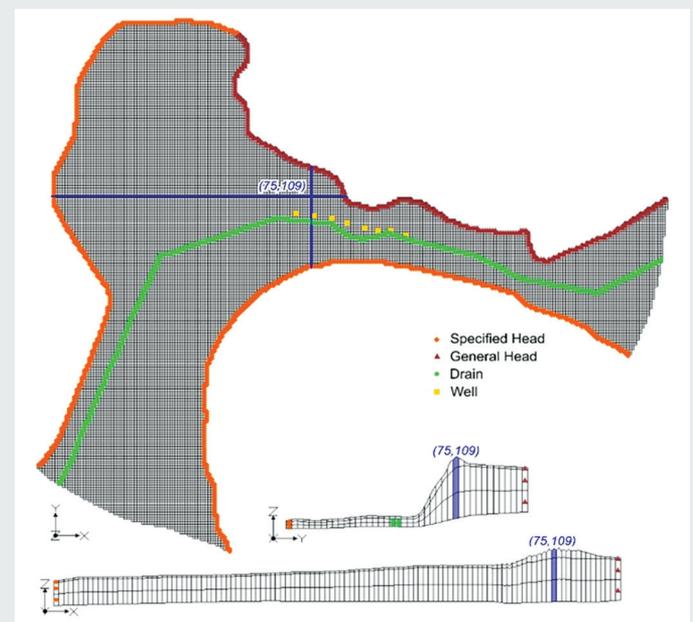


Рис. 2. Схематизация гидрогеологических условий в плане и разрезе.

Сурет 2. Планадағы және қимадағы гидрогеологиялық жағдайлардың схемасы.  
Figure 2. Schematic of hydrogeological conditions in plan and section.

и верхнепалеозойскими тектоническими формами Токрауского синклиория. Западная и центральная части площади листа сложены Балхашским интрузивным комплексом. В строении антиклинория принимают участие отложения верхнего силура, девона и нижнего карбона, смятые и крупные симметричные челнокообразные складки выдержанного северо-западного простирания, с углами падения крыльев от 45° до 65°. Длина складок<sup>1</sup> достигает 50-60 км, при ширине 5-10 км [1].

**Мелкосопочный рельеф.** Этот комплекс объединяет несколько типов рельефа, развитых в пределах района. Грядовый рельеф отмечен по левобережью долины р. Токрау. В геологическом строении грядового рельефа принимают участие различные по происхождению и возрасту породы, начиная от песчаников силура и заканчивая эффузивами карбона. Положительные элементарные формы представлены грядами, линейная направленность которых совпадает с простиранием палеозойских пород.

Грядовый рельеф имеет в районе очень небольшое распространение. Он связан с позднейшим поднятием территории, последующим смывом неогеновых глин с водораздельных пространств и расчленением денудационной равнины на систему мелких гряд с превышением 25 м, реже 35 м. Протяженность гряд, как правило, 50-100 м; ширина по основанию – 10-25 м, по верху гряд она ограничивается несколькими метрами. Лога, разобщающие гряды, узкие, короткие, с ясно выраженным тальвегом и крутым уклоном.

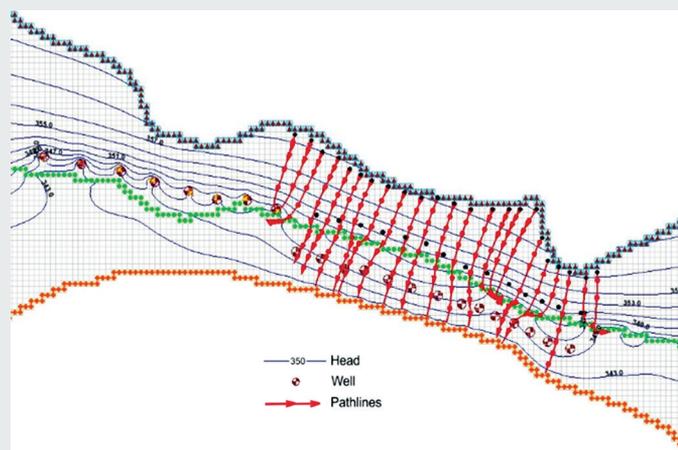
Увалисто-холмистый рельеф как эрозионно-тектонического, так и денудационного генезиса образован сочетанием куполовидных холмов и увалов, разделенных густой и мелкой сетью логов. Определенная закономерность в распределении холмов и увалов обычно прослеживается там, где этот рельеф развит на осадочных породах девона и карбона. В большей части увалы не имеют определенной направленности. Протяженность их не превышает 1-2 км. Ширина колеблется в пределах 100-300 м. Холмы по основанию имеют неопределенную форму, куполовидную вершину. Иногда они сохраняют общую связь с увалом, чаще же они разобщены широкими понижениями. Склоны пологие, слабо расчленены. Относительные превышения изменяются от 8-10 м до 20-40 м.

**Побережье озера Балхаш.** Аккумулятивный дельтовый берег низкий и пологий. Береговая полоса шириной в 1-5 км заболочена и заросла камышом. Вдоль береговой линии тянется с перерывом современный береговой вал. Высота его 2-3 м, ширина незначительная (15-25 м). Далее за береговым валом следуют отложения первой и второй озерных террас. Ширина первой озерной террасы достигает 1,8 км, второй 1,2 км. Современные шлейфы конусов выноса вложены в более древние и выделяются широкими полосами с незначительным уклоном поверхности вдоль подножий мелкосопочных массивов. Они сложены суглинками и супесями со щебнем и редким

грубо окатанным галечником. По возрасту формирования шлейфов конусов выноса условно отнесено к верхне-четвертичному современному отделу<sup>2</sup>.

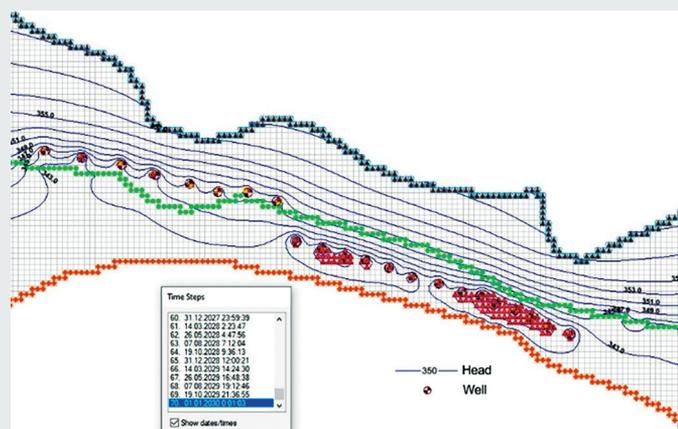
**Математическая модель гидрогеологических условий прибрежной зоны озера Балхаш**

Моделируемая область представлена песчано-гравийными и гравийно-галечными линзами и прослоями, залегающими среди супесей и глин мощностью от 3,2 м до 29,96 м. Водоупорные породы сложены



**Рис. 3. Расположение дополнительных дренажных скважин между каналом и озером Балхаш.**

**Сурет 3. Канал мен Балқаш көлі арасындағы қосымша дренаждық ұңғымалардың орналасуы.**  
**Figure 3. Location of additional drainage wells between the canal and Lake Balkhash.**



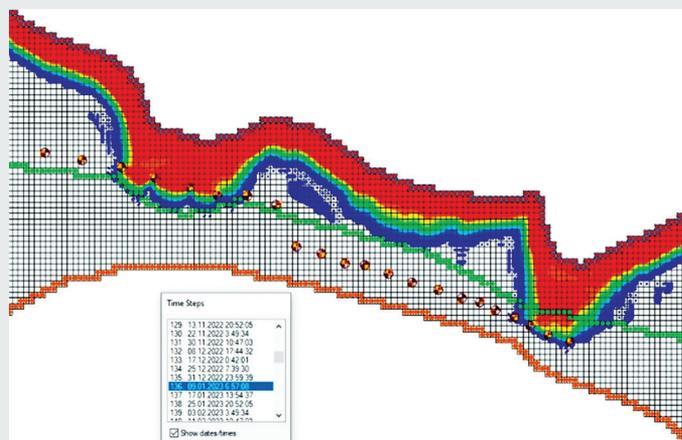
**Рис. 4. Решение гидродинамической задачи для варианта бурения 14 дренажных скважин между каналом и озером Балхаш, полученное на конец прогнозного периода (2030 г.).**

**Сурет 4. Болжамдық кезеңнің соңында алынған канал мен Балқаш көлі арасында 14 дренаждық ұңғыма бұрғылау нұсқасы бойынша гидродинамикалық есептің шешімі (2030 ж.).**  
**Figure 4. Solution of the hydrodynamic problem for the option of drilling 14 drainage wells between the canal and Lake Balkhash obtained at the end of the forecast period (2030).**

<sup>2</sup>Жирков В. Реконструкция дренажного канала №1 с устройством вертикального дренажа на хвостохранилище цеха складирования хвостов Балхашской обогатительной фабрики: рабочий проект. – Караганда: ТОО НИЦ «Биосфера Казахстан», 2016. (на русском языке)

глинами и трещиноватыми гранитными массивами, заполненными вторичными образованиями [2].

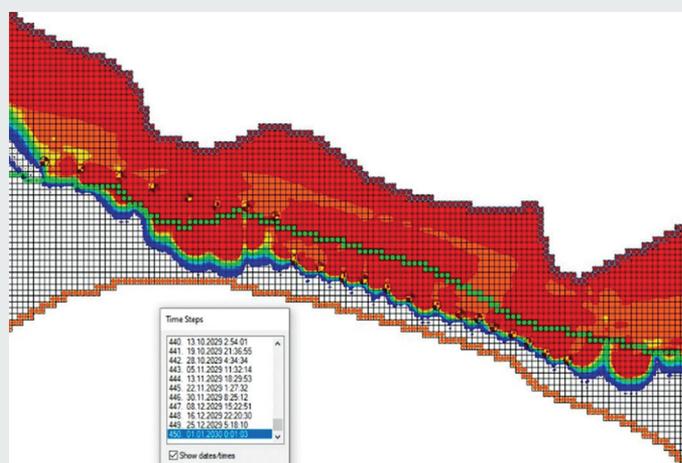
Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и потерь воды под хвостохранилищем и прудом-накопителем. Расходные статьи баланса – испарение с поверхности земли, отток в дренажный канал, водоотбор дренажными скважинами.



**Рис. 5. Ореол распространения тяжелых металлов в подземных водах через три года после поступления для варианта бурения 14 дренажных скважин между каналом и озером Балхаш.**

**Сурет 5. Канал мен Балқаш көлі арасында 14 дренаждық ұңғымаларды бұрғылау нұсқасы үшін шығарылғаннан кейін үш жыл өткен соң жер асты суларында ауыр металдардың галогендік таралуы.**

**Figure 5. Halo distribution of heavy metals in groundwater three years after release for the option of drilling 14 drainage wells between the canal and Lake Balkhash.**



**Рис. 6. Ореол распространения тяжелых металлов в подземных водах через десять лет после поступления (2030 г.).**

**Сурет 6. Жер асты суларында ауыр металдардың галогендік таралуы шығарылғаннан кейін он жылдан кейін (2030 ж.).**

**Figure 6. Halo distribution of heavy metals in groundwater ten years after release (2030).**

**Схематизация природных условий.** Внешними границами модели на западе является пруд-накопитель, на востоке – хвостохранилище, на юге – оз. Балхаш. Водные объекты схематизированы граничными условиями I рода (Specified Head), предполагающими задание уровней грунтовых вод, и III рода (General Head), отражающими взаимосвязь подземных вод с внешней фильтрационной средой [3].

Границы, характеризующиеся отсутствием потока подземных вод, заданы граничными условиями II рода Barrier. Работа дренажного канала имитируется посредством задания граничных условий II рода Drain. Для дренажных скважин использованы граничные условия II рода Well, воспроизводящие работу водозаборных скважин с заданным расходом воды.

Хвостохранилище и пруд-накопитель являются источниками поступления загрязняющих веществ в подземные воды. Они отображаются на модели граничными условиями I рода Specified Concentration, подразумевающими задание значений концентраций загрязнителей вдоль границ водных объектов. Для прогнозирования распространения загрязнения от хвостохранилища и пруда-накопителя на модели были решены гидродинамическая и геомиграционная задачи. Для решения гидродинамической задачи использован модуль MODFLOW, для решения геомиграционной – модуль MT3DMS, входящие в состав системы математического моделирования подземных вод GMS<sup>3</sup>.

**Создание математической модели.** Исходные данные подготовлены с помощью географической информационной системы ArcGIS. Решение задач фильтрации подземных вод и миграции растворенных загрязняющих веществ осуществлялось с помощью системы математического моделирования подземных вод GMS. Моделируемая область в плане аппроксимирована равномерной ортогональной сеткой размером 249 × 223 с шагом 25 м, в разрезе – в виде 3 слоев мощностью от 1,12 м до 14,48 м. Значения коэффициентов фильтрации в горизонтальном и вертикальном направлениях составляют 2 м/сут. в северной части модели, 1,5 м/сут. – в южной, 0,5 м/сут. – в области плотин для первого и второго слоев. Коэффициент гравитационной водоотдачи задан 0,001.

Величина площадного питания задавалась равной 0,000384 м/сут. Внешние границы заданы граничными условиями General Head, Specified Head и Barrier, внутренние – Drain и Well. Вдоль границы хвостохранилища отметки воды составляют 366,5 м, пруда-накопителя – 354 м. По побережью оз. Балхаш отметки уровней равны 342,2 м. Границы, через которые не проходит поток подземных вод, заданы как непроницаемые. Дренажный канал имеет глубину 2 м и проводимость 10 (м<sup>2</sup>/сут.)/м. Водоотбор из дренажных скважин, пробуренных между хвостохранилищем и дренажным каналом, находится в пределах 120-143,86 м<sup>3</sup>/сут (1,389-1,665 л/с) [4].

Решение прогнозных задач осуществлялось в два этапа. На первом этапе на модели решалась

<sup>3</sup>Жирков В. Отчет по мониторингу подземных вод. – Караганда: ТОО НИЦ «Биосфера Казахстан», 2019. (на русском языке)

гидродинамическая задача, на втором – геомиграционная. Период прогнозирования составляет 10 лет. На модели выделено пять стрессовых периодов продолжительностью 2 года для увеличения точности решения и возможности реализации других вариантов постановки задачи. Решение прогнозной гидродинамической задачи представлено в виде карт гидроизогипс в различные моменты времени.

Геомиграционная задача отражает процесс переноса загрязняющих веществ потоком подземных вод от хвостохранилища и пруда-накопителя по направлению к оз. Балхаш. В процессе решения концентрация в источниках условно принята за 100%. Это дает возможность рассчитать процентное отношение концентрации в каждой из выделенных зон к концентрации загрязнителя в источнике. Результирующее значение концентрации загрязнителя представляет собой сумму рассчитанной концентрации и средней величины концентрации загрязнения территории. Исходя из этого, сформирована легенда к картам распространения тяжелых металлов потоком подземных вод (табл. 1) [5, 6].

Гидрогеологические условия на исследуемой территории останутся неизменными в течение всего прогнозного периода. Решение задачи переноса загрязняющих веществ подразумевает расчет траекторий переноса частиц потоком подземных вод и позволяет определить участки территории, загрязнение которых наиболее опасно с точки зрения попадания тяжелых металлов в оз. Балхаш. С помощью модуля MODPATH определены направления движения частиц и расстояния, на которые они переместятся за определенный промежуток времени. Результаты решения показывают, что наиболее подверженной загрязнению тяжелыми металлами является восточная часть моделируемой области.

**Бурение дренажных скважин между дренажным каналом и оз. Балхаш.** Дополнительные дренажные скважины в количестве 14 штук планируется пробурить до коренных пород между существующим дренажным каналом и оз. Балхаш в соответствии с построенными линиями тока. Их число совпадает с количеством

скважин, заданных при прогнозировании расположения скважин севернее дренажного канала (между дренажным каналом и хвостохранилищем). Результаты решения говорят об эффективности изменения местоположения скважин в направлении вниз по потоку от дренажного канала [7-9]. На модели решена прогнозная геомиграционная задача. По результатам можно сделать вывод, что при отсутствии изменения гидрогеологических условий в восточной части территории в течение прогнозного периода в оз. Балхаш попадет более 10% загрязняющих веществ от их количества в источнике.

#### Заключение

На основании результатов расчетов можно сделать вывод, что эксплуатация скважин позволит значительно снизить скорость распространения загрязнения. При этих условиях загрязнение от хвостохранилища не достигнет оз. Балхаш в течение прогнозного периода.

Сооружение дренажных скважин в районе пруда-накопителя не требуется, поскольку ореол загрязнения не достигнет оз. Балхаш в течение прогнозного периода. Бурение дренажных скважин до коренных пород между существующим дренажным каналом и хвостохранилищем (14 скважин глубиной от 20 м до 30 м) может значительно замедлить распространение загрязнения в течение прогнозного периода. Этим скважин должно быть достаточно, чтобы не допустить попадания загрязняющих веществ в оз. Балхаш. На эффективность работы общей дренажной системы влияет местоположение дополнительных дренажных скважин. Бурение дренажных скважин до коренных пород между существующим дренажным каналом и оз. Балхаш является оптимальным, поскольку требует эксплуатации меньшего количества скважин (глубиной от 20 м до 30 м). Требуется создать дополнительные створы наблюдательных скважин по направлению движения подземных вод от дренажного канала до оз. Балхаш и произвести чистку фильтровой части ранее пробуренных мониторинговых скважин для обеспечения водопритока в ствол скважин и ведения качественного мониторинга подземных вод на объекте.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тилекова Ж.Т., Ошакбаев М.Т., Хаустов А.П. Оценка геоэкологического состояния Прибалхашья. // *География и природные ресурсы*. – 2016. – №1. – С. 173-181 (на русском языке)
2. Mikhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D.B. Рекомендации по предотвращению, устранению и смягчению негативного воздействия климатических изменений на подземные воды Казахстана. // *20-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM*. – 2020. – Вып. 20. – С. 707-714 (на английском языке)
3. Mikhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D. Проблема обеспечения питьевой водой населения Мангистауской и Западно-Казахстанской областей. // *20-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM*. – 2020. – Вып. 20. – С. 693-700 (на английском языке)
4. Mikhamedzhanov M.A., Arystanbaev Ya.U., Kazanbaeva L.M., Nurgaziyeva A.A., Rakhmetov I.K. Подземные питьевые воды Казахстана и проблемы их загрязнения. // *18-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM*. – 2018. – Вып. 18. – С. 743-750 (на английском языке)
5. MacKinnon B.D., Baulch H.M., Segin J., Lindenschmidt K.E., Jardine T.D. Влияние гидрологической связности на зимнюю лимнологию в пойменных озерах дельты реки

- Саскачеван, Саскачеван. // Канадский журнал рыболовства и водных наук. – 2016. – Вып. 73. – С. 140-152 (на английском языке)
6. Yariyev V., Sagintayev Z., Verhoef A., Kassymbekova A., Baigaliyeva M., Zhumabayev D., Malgazhdar D., Abudanash D., Ongdas N., Jumassultanova S. Изменяющийся круговорот воды: Национальный природный парк «Бурабай», Северный Казахстан. // WIREs Water. – 2017. – Т. 4. – Вып. 5. – С. 1-14 (на английском языке)
  7. Jawadi H.A., Sagin J., Snow D.D. Детальная оценка качества подземных вод в бассейне Кабула, Афганистан, и их пригодность для использования в качестве воды для будущего развития. // Вода. – 2020. – №12(10). – С. 2890 (на английском языке)
  8. Issayeva L., Togizov K., Duczmal-Czernikiewicz A., Kurmangazhina M., Muratkhanov D. Рудоконтролирующие факторы как основа выделения перспективных участков в пределах Сырымбетского редкометального месторождения, Северный Казахстан. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2022. – Т. 16. – №2. – С. 14-21 (на английском языке)
  9. Abid M., Abid Z., Sagin J., Murtaza R., Sarbassov D., Shabbir M. Перспективы плавучей фотоэлектрической технологии и ее внедрение в странах Центральной и Южной Азии. // Международный журнал экологических наук и технологий. – 2019. – Т. 16. – С. 1755-1762 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тилекова Ж.Т., Ошакбаев М.Т., Хаустов А.П. Балқаш өңірінің геоэкологиялық жағдайын бағалау. // География және табиғи ресурстар. – 2016. – №1. – С. 173-181 (орыс тілінде)
2. Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D.B. Қазақстандағы жер асты суларына теріс әсер ететін климаттық өзгерістердің алдын алу, жою және жұмсарту бойынша ұсыныстар. // 20-шы Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция SGEM. – 2020. – Шығ. 20. – Б. 707-714 (ағылшын тілінде)
3. Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D. Маңғыстау және Батыс Қазақстан облыстарының тұрғындарын ауыз сумен қамтамасыз ету мәселесі. // 20-шы Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция SGEM. – 2020. – Шығ. 20. – Б. 693-700 (ағылшын тілінде)
4. Mukhamedzhanov M.A., Arystanbaev Ya.U., Kazanbaeva L.M., Nurgaziyeva A.A., Rakhmetov I.K. Қазақстанның жер асты ауыз суы және олардың ластану проблемалары. // 18-шы Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция SGEM. – 2018. – Шығ. 18. – Б. 743-750 (ағылшын тілінде)
5. MacKinnon B.D., Baulch H.M., Sagin J., Lindenschmidt K.E., Jardine T.D. Канадалық балық шаруашылығы және су ғылымдары журналы. – 2016. – Шығ. 73. – Б. 140-152 (ағылшын тілінде)
6. Yariyev V., Sagintayev Z., Verhoef A., Kassymbekova A., Baigaliyeva M., Zhumabayev D., Malgazhdar D., Abudanash D., Ongdas N., Jumassultanova S. Су айналымының өзгеруі: Бурабай ұлттық табиғи саябағы, Солтүстік Қазақстан. // WIREs Water. – 2017. – Т. 4. – Шығ. 5. – Б. 1-14 (ағылшын тілінде)
7. Jawadi H.A., Sagin J., Snow D.D. Кабул бассейніндегі жер асты суларының сапасын егжей-тегжейлі бағалау, Ауғанстан, және болашақта суды игеру үшін жарамдылық. // Су. – 2020. – №12(10). – Б. 2890 (ағылшын тілінде)
8. Issayeva L., Togizov K., Duczmal-Czernikiewicz A., Kurmangazhina M., Muratkhanov D. Сырымбет сирек металдар кен орнында келешегі бар учаскелерді бөліп алудың негізі ретінде руданы бақылау факторлары, Солтүстік Қазақстан. // Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру. – 2022. – Т. 16. – №2. – Б. 14-21 (ағылшын тілінде)
9. Abid M., Abid Z., Sagin J., Murtaza R., Sarbassov D., Shabbir M. Қалқымалы фотоэлектрлік технологияның болашағы және оны Орталық және Оңтүстік Азия елдерінде енгізу. // Қоршаған ортаны қорғау ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы. – 2019. – Т. 16. – Б. 1755-1762 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Tilekova Zh.T., Oshakbaev M.T., Khaustov A.P. Ocenka geoe'kologicheskogo sostoyaniya Pribalxash'ya [Assessment of the geoeological state of the Balkhash region]. // Geografiya i prirodnye resursy = Geography and natural resources. – 2016. – №1. – С. 173-181 (in Russian)
2. Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D.B. Recommendations on prevention, elimination and mitigation of climatic change negative

- effect on the groundwater in Kazakhstan. // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2020. – Vol. 20. – P. 707-714 (in English)*
3. *Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D. Problem of drinking water supply to population of mangistau and west-kazakhstan regions. // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2020. – Vol. 20. – P. 693-700 (in English)*
  4. *Mukhamedzhanov M.A., Arystanbaev Ya.U., Kazanbaeva L.M., Nurgaziyeva A.A., Rakhmetov I.K. Underground drinking water of Kazakhstan and problems of their contamination. // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2018. – Vol. 18. – P. 743-750 (in English)*
  5. *MacKinnon B.D., Baulch H.M., Sagin J., Lindenschmidt K.E., Jardine T.D. Influence of hydrological connectivity on winter limnology in floodplain lakes of the Saskatchewan River Delta, Saskatchewan. // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2016. – Vol. 73. – P. 140-152 (in English)*
  6. *Yapiyev V., Sagintayev Z., Verhoef A., Kassymbekova A., Baigaliyeva M., Zhumabayev D., Malgazhdar D., Abudanash D., Ongdas N., Jumassultanova S. The changing water cycle: Burabay National Nature Park, Northern Kazakhstan. // WIREs Water. – 2017. – Vol. 4. – Issue 5. – P. 1-14 (in English)*
  7. *Jawadi H.A., Sagin J., Snow D.D. A detailed assessment of groundwater quality in the Kabul basin, Afghanistan, and suitability for future development. // Water. – 2020. – №12(10). – P. 2890. (in English)*
  8. *Issayeva L., Togizov K., Duczmal-Czernikiewicz A., Kurmangazhina M., Muratkhanov D. Ore-controlling factors as the basis for singling out the prospective areas within the Syrymbet rare-metal deposit, Northern Kazakhstan. // Mining of Mineral Deposits. – 2022. – Vol. 16. – №2. – P. 14-21(in English)*
  9. *Abid M., Abid Z., Sagin J., Murtaza R., Sarbassov D., Shabbir M. Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries. // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2019. – Vol. 16. – P. 1755-1762 (in English)*

**Сведения об авторах:**

**Муратханов Д.Б.**, докторант PhD кафедры гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), младший научный сотрудник лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), [d.muratkhanov@satbayev.university](mailto:d.muratkhanov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-4825-7692>

**Рахимов Т.А.**, PhD, заведующий лабораторией региональной гидрогеологии и геоэкологии Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), [t-rakhimov@mail.ru](mailto:t-rakhimov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0976-4643>

**Рахметов И.К.**, младший научный сотрудник лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), [issa-92@mail.ru](mailto:issa-92@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6269-7734>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Муратханов Д.Б.**, Satbayev University, Гидрогеология, инженерлік және мұнайгаз геология кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан), Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты», Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

**Рахимов Т.А.**, PhD, Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты», Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

**Рахметов И.К.**, Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты», Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Muratkhanov D.B.**, PhD Student at the Department of Hydrogeology, Engineering and Petroleum Geology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), Junior Researcher at the Laboratory of Redional Hydrogeology and Geoecology of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

**Rakhimov T.A.**, PhD, Head at the Laboratory of Regional Hydrogeology and Geoecology of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

**Rakhmetov I.K.**, Junior Researcher at the Laboratory of Redional Hydrogeology and Geoecology of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

*Работа выполнена в рамках программы «Тепло-энергетический, минерально-сырьевой и лечебно-оздоровительный потенциал термоминеральных и промышленных подземных вод Казахстана. Оценка состояния и тенденций изменения гидрогеохимических показателей подземных вод под влиянием природно-климатических изменений и антропогенных нагрузок» (Грант № BR10262555).*

*Авторы высоко отмечают поддержку Комитета геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.*

На 96-м году жизни скончался выдающийся горный инженер, кандидат технических наук, Лауреат Ленинской премии СССР и премии Совета Министров СССР, бывший главный инженер Ачисайского полиметаллического комбината Израиль Шмульевич (Самойлович) Коган.

Израиль Шмульевич (Самойлович) родился 30 апреля 1927 г. в г. Умань Украинской ССР. В 1944 с семьей переехал в г. Алма-Ату, где поступил на работу в АЗТМ. В 1945 году в средней школе №28 сдал экстерном экзамены на аттестат зрелости и в этом же году поступил на горный факультет КазГМИ.

С 1951 г. после завершения учебы его дальнейшая производственная деятельность связана с комбинатом «Ачполиметалл», где он прошел путь от горного мастера до главного инженера комбината.

И.С. Коган был одним из организаторов и участников скоростных проходок с мировыми рекордами, он оставил яркий след в истории Ачисайского комбината и всей цветной металлургии республики как творческий инженер и ученый.

Основной заслугой И.С. Когана в развитии научно-технического прогресса на комбинате стало создание Научно-технического центра на базе отдельных лабораторий цехов, Всесоюзной школы скоростных проходок, специализированного конструкторского бюро и участков внедрения новой техники и механизации трудоемких работ.

Основные работы, которые были проведены и внедрены на комбинате при непосредственном участии И.С. Когана и имели принципиальное значение для всей отрасли, это:

- внедрение на Ачисайском и Джезказганском комбинатах с участием института Гипроцветмет систем отработки месторождений с применением подземного самоходного оборудования;
- разработка и организация скоростных проходок горных выработок, каких еще не знала в то время горнодобывающая промышленность;
- создание совместного с институтами Гинцветмет и Уралмеханобр сложных многостадийных схем обогащения руд с бедным содержанием металла;
- внедрение вместе с коллективом института Гинцветмет технологии извлечения барита



**Израиль Самойлович  
Коган  
(1927-2022)**

из миргалымсайских руд, что обеспечило производство баритового концентрата в значительных количествах;

- создание и внедрение совместно с КазПТИ технологии шламовой бетонной закладки (впервые в мире);
- уникальная система водоулавливания и водоотведения (совместно с Гипроцветметом) при притоках более 10 тыс. м<sup>3</sup> в час.

В созданной 1965 г. Министерством цветной металлургии СССР на комбинате, постоянно действующей Всесоюзной школе скоростных проходок за десять с лишним лет передовому опыту было обучено более двух тысяч горняков с различных предприятий СССР и зарубежных стран.

Отдельная тема разговора – АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом – любимое детище И.С. Когана.

На обогатительных фабриках Ачполиметалла автоматика контролировала действующее оборудование дробильно-транспортных отделений и технологические схемы. В измельчительных отделениях с ее помощью загружались рудные мельницы, поддерживались заданная плотность слива классификаторов, учитывался объем переработанной руды. Автоматы закачивали в расходные емкости дозирочных площадок реагенты, обеспечивали работу вакуум-фильтров, разгружали материалы и выполняли еще немало других работ, требовавших ранее больших затрат времени и сил.

Израиль Самойлович останется в нашей памяти как человек незаурядного ума, умевший находить выход из тупика, из которого, казалось бы, нет выхода, как наставник и воспитатель, объединявший вокруг себя грамотных и творческих инженеров.

Он был коллективным человеком, которому успехи, достигнутые подчиненными, доставляли не меньшее удовольствие, чем собственные.

Лауреат Ленинской премии СССР, премии Совета Министров СССР, заслуженный горняк КазССР Израиль Самойлович Коган награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, медалью «За доблестный труд», знаком «Шахтерская слава», Почетной грамотой Президиума Верховного Совета КазССР. Он в течение 24 лет избирался депутатом городского Совета и членом горкома партии.

**Ветераны цветной металлургии Казахстана и комбината «Ачполиметалл», редакционная коллегия «Горного журнала Казахстана» приносят родным и близким, друзьям и коллегам Израиля Шмульевича (Самойловича) Когана самые искренние соболезнования с глубоким чувством потери одного из выдающихся деятелей горной науки.**

24 октября 2022 года ушел из жизни Вячеслав Васильевич Беднов.

Вячеслав Васильевич родился 13 сентября 1938 года в с. Чужовка (Витебская область, Республика Беларусь).

В 1960 г. закончил Казахский горно-металлургический институт по специальности «Маркшейдерское дело». В том же году был направлен на Северо-Джезказганский рудник Джезказганского горно-металлургического комбината старшим маркшейдером; в 1961 г. был избран первым секретарем горкома комсомола г. Джезказгана, в 1963 г. – вторым секретарем Карагандинского промышленного ОК ЛКСМК.

В 1966 г. В.В. Беднов трудился на Центральной нормативной исследовательской станции по труду Госплана КазССР начальником отдела угольной промышленности; исполняющим обязанности главного инженера горнорудной промышленности; начальником отдела металлургической промышленности; главным инженером отдела научной организации труда.

С 1967 г. Вячеслав Васильевич работал начальником отдела по совершенствованию нормирования труда и материального стимулирования в Центре по НОТ Министерства цветной металлургии КазССР. В 1969 г. он – начальник отдела по открытым горным работам, заместитель начальника Центра НОТ и УП Министерства цветной металлургии КазССР; начальник отдела рабочих кадров Управления труда и заработной платы; начальник отдела кадров Министерства цветной металлургии КазССР; начальник отдела руководящих кадров Министерства цветной металлургии.

В 1979 г. В.В. Беднов был избран секретарем Казахского Республиканского комитета профсоюза рабочих металлургической промышленности.



**Вячеслав Васильевич  
Беднов  
(1938-2022)**

С 1983 г. Вячеслав Васильевич занимал должность заведующего хозяйственным отделом по обслуживанию Комитета народного контроля Казахской ССР ХОЗУ УД Совета Министров КазССР. С 1987 г. В.В. Беднов был заместителем заведующего Общим отделом Комитета; заведующим Бюро жалоб и предложений трудящихся в Комитете Народного контроля Казахской ССР; в 1991 г. – начальником отдела по подбору и расстановке кадров, начальником отдела руководящих кадров Министерства промышленности Казахской ССР.

С 1994 г. работал в Министерстве промышленности и торговли начальником ведущего управления финансового обеспечения, кадровой политики и спецработ; начальником Главного управления кадров и организации работ аппарата.

В 1997 г. Вячеслав Васильевич закончил свою трудовую деятельность в связи с уходом на пенсию.

За время своей трудовой деятельности В.В. Беднов был награжден премиями, почетными грамотами Министерства цветной металлургии и ЦК профсоюза рабочих металлургической промышленности, почетной грамотой Комитета Народного контроля Казахской ССР, нагрудным знаком «Победитель соцсоревнования». За долголетний, добросовестный труд от имени Президиума Верховного Совета СССР решением исполкома Алма-Атинского городского Совета народных депутатов был награжден медалью «Ветеран труда», Почетным знаком «За активную работу в органах народного контроля СССР».

Вячеслав Васильевич был хорошим семьянином, добрым и понимающим отцом, дедом, грамотным специалистом и уважаемым человеком на работе и в коллективе, надежным и добропорядочным другом.

**Память о таких людях, как Вячеслав Васильевич Беднов, навсегда сохранится в сердцах людей, знавших его, учившихся с ним, работавших вместе с ним. Пусть земля ему будет пухом.**

## 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](http://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, метадаанные 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 подрисовочном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

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

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках.

### 4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 8 (восьми) экземпляров журнала с 50% скидкой, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. Для авторов, проживающих в других городах (кроме г. Алматы) и не имеющих представителей в г. Алматы, в счет включаются почтовые услуги. После оплаты статья публикуется в очередном номере журнала, а автору(авторам) предоставляются экземпляры журнала, согласно счету.