

научно-технический и производственный

ГОРНЫЙ

ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

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

Издается с января 2003 г.

Приказом № 603 от 12.07.2024 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

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

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

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

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

Представители журнала:

Республика Узбекистан –
ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ
karimov20-13@mail.ru

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

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

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

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

Подписано в печать 30.05.2025 г.

Отпечатано:

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

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



Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

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

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD, Professor of Mining Engineering

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

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

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

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

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

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Едильбаев А.И., д-р техн. наук

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

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

Каримов Ш.В., PhD (Узбекистан)

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

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

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

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

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

Ольшанский Е.Н., член-корреспондент МАИН

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Туробов Ш.Н., PhD, доцент

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

Хамидов Р.А., PhD, доцент

Шодиев А.Н., д-р техн. наук, доцент

Чепуштанова Т.А., PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- 4 Сварка без остановки: ESAB устанавливает мировой стандарт надежности для предприятий Центральной Азии
- Геотехнология
- 6 С.Н. Шапошник, Л.А. Крупник, *Ю.Н. Шапошник, В.А. Портола
Пригодность инертных заполнителей для приготовления сухой или бутобетонной закладки
- 16 Инвестиция в десятилетия стабильности: Сегментные венцовые шестерни DBSantasalo
- Геотехнология
- 18 Б. Хусан, Ж.Б. *Ныгыметов, Ж.А. Азимбаева, Е. Бекболат
Эффективность применения цифровых технологий на открытых горных работах
- Минерально-сырьевые ресурсы
- 24 К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Г.В. Калабин, *М.Ж. Битимбаев
Природоподобные горные технологии – как новое научное направление при комплексном освоении недр земли
- Геология
- 31 *С.С. Айтбаева, Ж.А. Шаяхметова, М.А. Мизерная
Қалба-Нарым аймағының қалба кешенінің І фазасының гранитоидтарының кенділігі
- Геомеханика
- 39 V.V. Zhurov, *R.A. Mussin, N.M. Zamaliyev, D.R. Akhmaturov
Computer modeling of the stress-strain state of the near-contour rock mass
- Геодезия
- 45 *М.Б. Иземберлина, Г.Е. Жунусова, А.С. Туякбай, А.Б. Жаксыбаева
Применение беспилотных летательных аппаратов при разработке месторождений полезных ископаемых
- Геоэкология
- 52 A. Anarbayev, *N. Abdimutalip, G. Shalabayeva, A. Beskempirova
The ecological importance of processing phosphate raw materials to produce finished products
- 60 Д. Джармуханбетова, Е. Тулегенов, Л. Байкеева, *К. Баешова
Климаттық өзгерістерге байланысты Түркістан облысының қалалық аумақтарындағы геофизикалық өзгерістерді зерттеу
- Нефтегазовое дело
- 68 *Ж.Н. Алишева, О.С. Қурманбаев, А. Құмар
Некоторые особенности компьютерного моделирования при решении научно-прикладных задач
- М.С. Молдабеков, *М.С. Бокенова, Р.Д. Сүлей
- 74 Құбырөткізгіштер мен ұңғымаларда гидрат пайда болуының алдын алу мен гидрат тығындарын жою әдістеріне талдау
- 80 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые коллеги!*

9 мая 1945 года, город Усть-Каменогорск, улица Орджоникидзе, двухэтажный коммунальный дом напротив наискось от кинотеатра «Октябрь». Мне до пяти лет еще три месяца. Я, видимо, занимаюсь детскими делами. И вдруг на улице происходит внезапно и быстро что-то невообразимое. Она наполняется людьми, все машут руками, кричат, начинают почему-то обниматься. Мама вдруг садится на табуретку и начинает плакать. Наконец она обращает на меня внимание и говорит на казахском: «Айналайым балам! Біз жеңдік! Киін! Бірге далаға шығамыз!» (Сыночек, мы победили! Одевайся, вместе выйдем на улицу!). Потом с соседками выносят стол на тротуар, ставят рядом самовар, стол наполняется хлебом, картошкой, соленьями. Появляется бутылка, стаканы, и мы тоже становимся участниками всеобщего пира. Люди плачут, смеются, кричат, обнимаются и поют песни. Вот таким я запомнил День Великой Победы, который закончился поздно ночью и на улице, и в нашей трехкомнатной квартире, наполненной людьми – нашими родственниками, знакомыми и ближе к полуночи уже и незнакомыми.

С тех пор прошло 80 лет, и для меня, моей собственной семьи День Победы каждый год ожидаемый день восторга, радости, печали, тревоги и воспоминаний о тех, кто не вернулся или вернулся и жил рядом, трудился, вырастил детей и наслаждался мирной жизнью и чистым воздухом.

Прошли 10 классов школы, 5 лет учебы в Казахском горно-металлургическом институте, 29 лет в подземных коридорах, на обогатительных фабриках и в других цехах Ачисайского и Иртышского полиметаллических комбинатов, 34 года в Новом Казахстане практически на всех предприятиях горно-металлургического комплекса и на просторах Великой степи, в горах Алтая, Алатау, Каратау в геологической среде. Мне скоро 85 лет, но я считаю, что работаю на благо своей страны и своей семьи. Все началось с нашей победы.

Жизнь диктовала свои требования, ставила свои задачи, тысячи людей, ранее не знакомых, стали коллегами, друзьями, все подчинялось единому ритму становления и развития Советского Союза и нынешнего Казахстана. Но всегда оставался День, когда мы говорили только на одну тему: как наши народы вместе, теряя на полях сражений лучших своих сынов и дочерей, победили фашистского зверя, сломав ему хребет в его логове.

Сегодня 80 лет с того Дня, когда люди нашей страны получили возможность продолжить свою жизнь в том русле, которое враг перекрыл им 22 июня 1941 года. И сегодня, несмотря на новые угрозы, желание дать волю своим завистливым и злым глазам и загребушим, жадным до чужого рукам некоторых считающих себя цивилизованными и привыкших жить за счет колониального угнетения африканцев и азиатов странам, мы в своей родной стране чувствуем себя хозяевами, которые строят свое будущее, не желая ничего чужого.

У нас есть трудолюбивый народ со своей историей и опытом создания Казахстанской многонациональной государственности, необъятная богатая земля с ее цветущими полями и неисчерпаемыми недрами, наши традиции, основанные на добре и справедливости, наше мужество и отвага, закаленные в ратных подвигах, которому по плечу создание процветающего справедливого Нового Казахстана.

Опыт Великой войны за нашу свободу, унесший жизни более 600 тыс. молодых, полных сил и желаний, светлых разумом казахстанцев, говорит: «Будьте всегда готовы защитить свое Отечество вместе с окружающими нас соседями, чья мудрость говорит им то же самое».

Пусть наши старшие поколения, не жалея себя, защитившие нас и подарившие нам счастливое будущее, спят спокойно! Их образы перед нашими глазами, их духовность и мужество для нас всегда пример.

В этот святой день – День Победы – в каждой казахстанской семье вспомнят об ушедших навсегда добрым словом и поклянутся сделать все для благополучия и процветания нашей Родины – Республики Казахстан.

Спасибо нашим предкам за подарившую нам счастливую жизнь! Она будет итогом претворения в жизнь инициативы нашего Президента Касым-Жомарта Кемелевича «О мировом единстве за справедливый мир, согласие и развитие», представленной в ООН как официальный документ, подтверждающий роль нашей страны как миротворца в планетарном масштабе.

Миротлюбивое сердце Казахстана протягивает руку дружбы и согласия всему мировому сообществу независимо от политического строя. Оно предлагает миропорядок в момент самого серьезного перепаху после окончания нашей Победой в Великой Отечественной войне и устранения последствий «холодной войны».

Инициатива нашего Президента утверждена ШОС, и наш народ надеется, что ее утверждение в ООН положит начало новой эре на Земле.

СВАРКА БЕЗ ОСТАНОВКИ: ESAB УСТАНАВЛИВАЕТ МИРОВОЙ СТАНДАРТ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Промышленность Центральной Азии характеризует стремление к динамичному развитию и открытость инновациям. Быстрые темпы роста экономики ставят перед предприятиями новые вызовы: сохранить набранный темп и при этом гарантировать высокую производительность.

По прогнозам в 2025 году совокупный ВВП Центральной Азии увеличится на 5,4%. Лидерами роста станут Кыргызстан – 8,5%, Таджикистан – 7,4%, Узбекистан – 6,6%, Казахстан – 4,9%.

На первый план выходит потребность в оборудовании, способном работать стабильно и результативно в любых условиях. Для рабочих и инженеров надежность приборов – не просто характеристика, а вопрос уверенности в завтрашнем дне, поэтому в производителях и поставщиках заказчики ищут в первую очередь верного партнера.

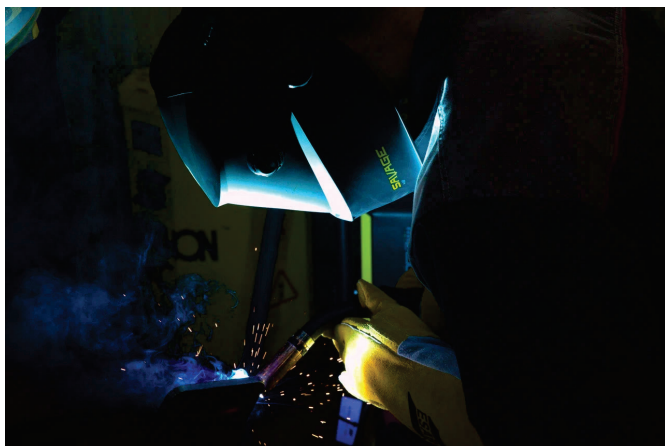
Компания ESAB – ведущий мировой производитель оборудования и расходных материалов для сварки и резки – с 2007 года активно сотрудничает с предприятиями региона. За это время компания глубоко изучила локаль-

ные потребности и выстроила прочные партнерские отношения с ключевыми игроками отрасли.

В 2025 году ESAB продолжает системно наращивать свое присутствие в странах Центральной Азии, внедряя инновационные технологии и высокие стандарты качества в местную промышленность. Примером эффективного решения, вызвавшего интерес рынка, стал сварочный инверторный источник тока Transmig 500DP. Аппарат был специально разработан для решения задач предприятий судостроения, при работах со строительными металлоконструкциями, железнодорожным, грузовым и пассажирским транспортом. Кроме этого, оборудование эффективно при изготовлении сосудов, резервуаров и различных емкостей.

Transmig 500DP отличается высокой производительностью и надежностью: он способен работать в непрерывном цикле 24 часа в сутки, с продолжительностью нагрузки 100% на сварочном токе 500 ампер. Особое внимание при его разработке уделено качеству сварного шва – за счет режимов «импульс» и «двойной импульс» сварщик может выполнять работы с минимальным разбрызгиванием и получать аккуратные, прочные соединения. Модель оснащена синергетическими программами для механизированной





сварки в среде защитных газов (MIG/MAG), а также поддерживает сварку в среде углекислого газа. Для подключения подогревателей предусмотрена розетка на 36 В.

«Transmig 500DP отвечает самым жестким требованиям крупных производственных предприятий и пользуется спросом у компаний, для которых важны стабильность работы и высокое качество результата. Удобство использования, высокая точность сварки и широкий диапазон настроек предоставляют специалистам больше возможностей для эффективного выполнения производственных задач», — отмечает **Екатерина Татарина, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.**

Практическая эффективность Transmig 500DP была подтверждена одной из самых сложных производственных операций — сваркой фланцев.

Сварка фланцев необходима для соединения труб в различных отраслях, включая нефтехимическую промышленность, городское водоснабжение и энергосистему для обеспечения герметичности и получения крепкого соединения.

При помощи Transmig 500DP было предложено наплавить фланец диаметром около 2 метров с использованием проволоки Св-08ХГСМФА диаметром 1,6 мм. Ток наплавки составлял ≈ 450 Ампер, ширина разделки — ≈ 150 мм, глубина — ≈ 50 мм. Сварщики работали 3 суток почти без остановок, прерываясь на короткие паузы (10–15 минут) для замены проволоки и наконечников. Специалисты постоянно сменяли друг друга, чтобы процесс не прерывался.

Оборудование справилось с поставленной задачей на «ура»: Transmig 500DP работал стабильно и не перегревался.

«Этот кейс позволил доказать на практике, что наше оборудование действительно соответствует заявленным характеристикам. После успешного тестирования со сваркой фланцев Transmig 500DP был направлен на другие проекты, где снова подтвердил свою исключительную надежность. Мы можем смело говорить, что ЭСАБ помогает специалистам не просто выполнять производственные задачи, но обеспечивает безопасное исполнение на мировом уровне качества», — подчеркнула **Екатерина Татарина.**



Код МРНТИ 52.13.15

С.Н. Шапошник¹, Л.А. Крупник², *Ю.Н. Шапошник³, В.А. Портола⁴¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),²Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),³Институт горного дела СО РАН им. Н.А. Чинакала (г. Новосибирск, Россия),⁴Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово, Россия)

ПРИГОДНОСТЬ ИНЕРТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХОЙ ИЛИ БУТОБЕТОННОЙ ЗАКЛАДКИ

Аннотация. В статье приведены требования нормативных документов к инертным материалам сухой породной и бутобетонной закладки на подземных рудниках. Определен гранулометрический состав пород в проходческом забое путем обработки фотографий производительными алгоритмами компьютерного зрения. Представлена методика проведения термографических исследований инертных материалов по определению склонности заполнителей к самовозгоранию по скорости сорбции кислорода, температуре воспламенения и условной скорости окисления. Выявлена способность применяемых инертных заполнителей поглощать из атмосферы некоторые газы, а также выделять газы, образующиеся при химических реакциях и при распаде этих материалов. На основе лабораторных испытаний выявлены деформационно-прочностные свойства образцов бутобетонной закладки в возрасте 14, 28 и 45 суток.

Ключевые слова: закладочные материалы, бутобетонная закладка, инертный заполнитель, гранулометрический состав, пожароопасность, деформационно-прочностные свойства.

Инертті агрегаттардың құрғақ немесе бетон бетбелгісін дайындауға жарамдылығы

Аннотация. Мақалада жерасты кеніштеріндегі құрғақ тау жыныстары мен бүршік бетон төсемдерінің инертті материалдарына қойылатын нормативтік құжаттардың талаптары келтірілген. Компьютерлік көрудің өнімді алгоритмдерімен фотосуреттерді өңдеу арқылы ұңғыма кенжарындағы тау жыныстарының гранулометриялық құрамы анықталды. Оттегінің сорбция жылдамдығы, тұтану температурасы және шартты тотығу жылдамдығы бойынша толтырғыштардың өздігінен жануға бейімділігін анықтау үшін инертті материалдарға термографиялық зерттеулер жүргізу әдістемесі ұсынылған. Қолданылатын инертті агрегаттардың атмосферадан кейбір газдарды сіңіру, сондай-ақ химиялық реакциялар кезінде және осы материалдардың ыдырауында пайда болатын газдарды шығару қабілеті анықталды. Зертханалық сынақтар негізінде 14, 28 және 45 тәулік жасында бетон төсеу үлгілерінің деформациялық-беріктік қасиеттері анықталды.

Түйінді сөздер: бетон материалдары, бетон төсеу, инертті толтырғыш, гранулометриялық құрамы, өрт қауіптілігі, деформациялық-беріктік қасиеттері.

Suitability of inert aggregates for preparation of dry or rubble concrete backfill

Abstract. The article presents the requirements of regulatory documents for inert materials of dry rock and rubble concrete backfill in underground mines. The granulometric composition of rocks in the drift face was determined by processing photographs using productive computer vision algorithms. A technique for conducting thermographic studies of inert materials to determine the tendency of fillers to spontaneous combustion based on the oxygen sorption rate, ignition temperature, and conditional oxidation rate was presented. The ability of the inert fillers to absorb certain gases from the atmosphere and to emit gases formed during chemical reactions and the decomposition of these materials was revealed. Based on laboratory tests, the deformation and strength properties of rubble concrete backfill samples at the age of 14, 28, and 45 days were determined.

Key words: backfill materials, rubble concrete backfill, inert filler, granulometric composition, fire hazard, deformation and strength properties.

Введение

На сегодняшний день на горных предприятиях широко применяются различные виды закладки выработанного пространства: твердеющая, в том числе пастовая [1], гидравлическая, льдопородная на рудниках Крайнего Севера [2, 3], бутобетонная и сухая породная. Твердеющая закладка позволяет решить множество технологических и экологических вопросов при добыче руды, однако имеет существенный недостаток, а именно, высокие затраты при производстве закладочных работ. Пастовая закладка отличается от твердеющей меньшим объемом затворителя, но требует повышенных затрат из-за необходимости применения в составе технологической цепочки закладочных работ высоконапорных насосов для подачи смеси в отдаленные выработанные пространства в шахте. В качестве инертного заполнителя в настоящее время на закладочных комплексах при приготовлении твердеющей закладки на подземных рудниках Казахстана нашли применение измельченные пустые породы, золошлаки, золы-уносы, измельченные доменные шлаки, лежалые хвосты обогатительных фабрик (ОФ), текущие флотационные хвосты, отсев дробильно-сортировочных фабрик. Бутобетонная закладка нашла широкое применение при выемке запасов руд камерной системой разработки с формированием бутобетонных целиков и породной закладкой на рудниках Якутии и Чукотки, что дало возможность снизить высокие логистические затраты на доставку компонентов

смеси в отдаленные северные районы. Массив из сухой породной закладки не обладает несущей способностью, однако дает возможность поддерживать обнажения выработанного пространства. Формирование навала породной закладки в отработанных камерах возможно путем перепуска породы с поверхности или вышерасположенных горизонтов, принудительного обрушения пород всякого бока залежей или за счет их самообрушения. Степень заполнения выработанного пространства путем принудительного обрушения вмещающих пород или их самообрушения необходимо контролировать инструментальными методами. Анализ литературных источников и нормативной базы по производству бутобетонной закладки показал, что в настоящее время отсутствует метрологическое обеспечение ведения закладочных работ и не регламентирована.

Цель исследований – разработка нормативных требований к сухой породной и бутобетонной закладке на подземных рудниках.

Задачи исследований:

- выявление гранулометрического состава породы от проходческих работ для производства бутобетонной закладки и его влияние на усадку сформированных закладочных массивов;

- проведение испытаний инертных заполнителей на склонность сорбции кислорода инертными, температуры воспламенения и условной скорости окисления;

- установление влияния отходов производства на прочностные характеристики бутобетонной закладки.

Методы исследования

Опыт разработки рудных месторождений с сухой или бутобетонной закладкой выработанного пространства показывает, что качество возведенного искусственного массива в большой степени зависит от свойств компонентов закладочных смесей [4–6]. Выбор того или иного материала во многом определяется требованиями к ним и формируемому закладочному массиву, способу транспортирования и размещению закладки в выработанном пространстве [7]. Выбор компонентов закладочной смеси проводится по критериям безопасности ведения горных работ, т. е. достижению нормативной прочности сформированных закладочных массивов, экологической безопасности и возможности утилизации отходов производства в закладку.

Из проведенного анализа применяемых заполнителей при производстве закладочных работ и влияния заполнителя на реологические свойства смеси и прочностные характеристики закладки следует, что при выборе заполнителей необходимо учитывать их наличие или возможность получения их в необходимом количестве, технологию закладочных работ и возможность приготовления на их основе закладки требуемой прочности при минимальной стоимости.

Заполнители формируют жесткий каркас закладочного массива, уменьшают усадку и тепловыделение, повышают плотность смеси [8, 9]. При выборе заполнителя необходимо провести качественные исследования его свойств, основываясь на требованиях к искусственному массиву и в соответствии с технологией закладочных работ. Заполнители для закладочных работ специально добываются либо в качестве их используются отходы горно-обогатительного производства. Использование пустых пород для закладки не требует создания специальных закладочных комплексов, способствует уменьшению объемов транспортирования горной массы, а также поверхностных отвалов. Однако малая жесткость и высокая пустотность сухой закладки препятствуют их широкому применению. Основные сложности в использовании пустых пород в качестве закладочного материала связаны с трудностями их размещения в выработанном пространстве без существенного недозаклада и ее высокой сжимаемости.

Гранулометрический состав пород в проходческом забое возможно определять путем обработки фотографий производительными алгоритмами компьютерного зрения компании Piklema. Система CVision.PitFace позволяет измерять гранулометрический состав и негабариты в забое с погрешностью менее 5 см, что полностью соответствует требованиям к данным испытаниям.

Определение склонности к самовозгоранию исследуемых образцов инертных материалов проводится согласно [10]. В ходе лабораторных исследований выявляется присутствие или отсутствие серного колчедана FeS_2 и сульфида железа FeS в составе инертных, что позволяет судить об окисляемости и пожароопасности инертных и устанавливается возможность их использования в составах сухой

породной и бутобетонной закладки. Исследование аншлифов образцов проводятся на электронном микроскопе с приставкой для волнодисперсионного анализа. Для определения концентраций элементов используются стандарты М.А.С. Micro–Analysis Consultants Limited. Концентрация элементов представляются в весовых процентах. Определяется общее количество сульфидной серы. Минералогический анализ проб производится расчетным способом, т. е. осуществляется пересчет химического состава породы на минеральный.

Степень склонности к самовозгоранию инертных материалов по результатам лабораторных испытаний оценивается по:

- скорости сорбции кислорода, мл/г. ч;
- условной скорости окисления, мг/мин., SO_2 ;
- температуре воспламенения, град.

Для определения скорости сорбции кислорода инертным заполнителем отобранную пробу измельчают, просеивают на ситах для выделения фракции 1–3 мм. Затем пробы материала взвешивают на весах и определяют влажность представленных образцов с помощью сушильного шкафа. Установка (рис. 1) состоит из сорбционного сосуда, имеющего верхнюю пробку, слой стеклянных палочек, на которые помещают пробу руды или породы, а также нижний кран, через который отбирается проба воздуха. Пробоотборная пипетка соединена трубками через нижний кран с сорбционным сосудом и емкостью с раствором сульфата натрия. Вакуумный насос создает разрежение в емкости.

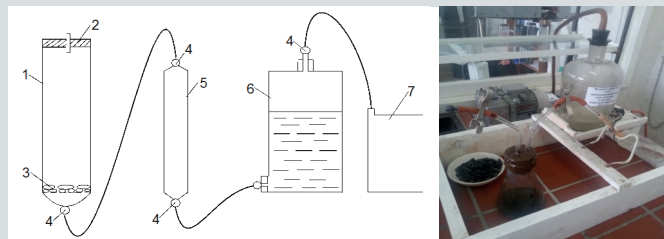


Рис. 1. Установка для определения скорости сорбции кислорода инертным заполнителем: 1 – сорбционный сосуд; 2 – пробка; 3 – стеклянные палочки; 4 – кран; 5 – пробоотборная пипетка; 6 – емкость с раствором; 7 – вакуумный насос.

Сурет 1. Инертті толтырғышпен оттегінің сорбция жылдамдығын анықтауға арналған қондырғы:

1 – сорбциялық ыдыс; 2 – тығын; 3 – шыны таяқшалар; 4 – кран; 5 – сынама алу тамшыуыры; 6 – еріміндісі бар ыдыс; 7 – вакуумдық сорғы.

Figure 1. Installation for determining the rate of oxygen sorption by an inert filler: 1 – sorption vessel; 2 – stopper; 3 – glass rods; 4 – tap; 5 – sampling pipette; 6 – container with solution; 7 – vacuum pump.

Испытываемая проба руды помещается в сорбционный сосуд, заполненный воздухом, на слой стеклянных палочек и герметически закрывается. Опыт протекает при постоянной температуре (обычно в интервале 20–25 °С), для чего сорбционный сосуд помещают в термостат. По истечении определенного времени (обычно через 24 ч) из

сорбционного сосуда отбирают пробу газа и определяют убыль в ней кислорода. Для отбора пробы газа пипетка заполняется раствором из емкости и соединяется с сорбционным сосудом. С помощью вакуумного насоса в емкости создается разрежение, что приводит к перемещению в него раствора из пипетки. Воздух из сорбционного сосуда замещает раствор в пипетке. Затем краны закрываются, а отобранная проба воздуха подается в газоанализатор для определения концентрации кислорода. Для продолжения опыта в сорбционном сосуде восстанавливают нормальный состав воздуха. С этой целью его продувают воздухом в течение 5 мин., затем вновь герметизируют.

Вычисление скорости сорбции кислорода рудой производилось по формуле:

$$U = \frac{V}{M\tau} \ln \frac{C_A(1 - C_0)}{C_0(1 - C_A)},$$

где V – объем воздуха, находящийся в соприкосновении с инертным материалом, см³; M – масса пробы инертного, г;

τ – время контакта воздуха с инертным, ч;

C_0 – начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.;

C_A – концентрация кислорода через время τ , доли ед.

Через 24, 48, 72, 96 и 120 ч результаты расчета константы скорости сорбции инертными материалами суммируются, и определяется средняя скорость сорбции по формуле:

$$U_{25} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n},$$

где n – число определений скорости сорбции кислорода породой в процессе эксперимента;

U_i – текущее значение скорости сорбции кислорода породой, см³/(г·ч).

Скорость окисления инертных материалов пропорциональна количеству выделяющегося сернистого газа в единицу времени. Эта скорость окисления является условной, так как при ее определении учитываются не все продукты окисления. При определении условной скорости окисления при непрерывном равномерном повышении температуры инертного нагревание образца производилось в электрической печи, в которую помещалась реакционная трубка с навеской руды весом в 1 г. При проведении лабораторных исследований инертных на окисление и самовозгорание через навеску пробы породы пропускался воздух с массовым расходом 125 мг/мин. Скорость тока воздуха измерялась лабораторным реометром. Отобранные пробы воздуха пропускали через хроматограф для определения концентрации SO_2 .

Температурой воспламенения является минимальная температура, при которой вещество способно выделять пары и газы в количестве, достаточном для продолжения горения после их воспламенения без дальнейшего добавления (притока) тепла от внешнего источника. Значение температуры воспламенения зависит от различных факторов: крупности зерен, состояния поверхности образца, скорости продувания воздухом, состава газовой фазы и т.

п. При определении температуры воспламенения образцы инертного нагревались в электрической печи с периодическим появлением источника воспламенения над образцом. Температура, при которой над образцом появлялось устойчивое пламя, являлось температурой воспламенения. У отобранных проб определялась влажность, а при оценке скорости сорбции кислорода измерялась концентрация кислорода, метана, оксида углерода и углекислого газа. Склонность пород к самовозгоранию определялась по определенной скорости сорбции кислорода, температуре воспламенения и условной скорости окисления (по таблице В.Я. Манакова).

Одной из опасностей подземных горных работ является способность применяемых материалов поглощать из атмосферы некоторые газы, а также выделять газы, образующиеся при химических реакциях и при распаде этих материалов. В аналитической лаборатории пробы помещались в термощкаф с вакуумным отсосом и подогревались до определенной температуры с одновременным замером объема и состава выделяющихся газов из штучного образца. Состав выделяющихся газов определялся с помощью газоанализаторов и хроматографа газового.

На первом этапе температура в термощкафу принудительно не повышалась. Продолжительность отбора проб воздуха на первом этапе – до прекращения выделения ядовитых газов и снижения содержания кислорода. На втором этапе воздух в термощкафу, в котором и помещена проба руды, принудительно разогревался до повышенных температур (в термощкафу температура воздуха повышалась до 450–500 °С). На всех этапах производился одновременный замер объема и состава выделяющихся газов.

Для исследования процессов выделения различных газов и интенсивности поглощения атмосферного кислорода породой отобранные пробы вначале измельчались, просеивались на ситах для выделения фракции 1–3 мм. Затем пробы пород взвешивались на весах, и определялась влажность представленных образцов с помощью сушильного шкафа.

В ходе лабораторных исследований образцы породы помещались в термощкаф и в герметично закрываемую установку. При проведении лабораторных исследований образцов руды и вмещающих пород через установку постоянно пропускался воздух с массовым расходом 0,5 л/мин. Скорость потока воздуха измерялась лабораторным реометром. Отобранные пробы воздуха пропускали через хроматограф и газоанализаторы для определения концентрации выделяющихся газов. Отбор проб газа из емкостей с образцами породы проводился при температурах 50, 100, 150, 200, 300, 350, 400 °С. При оценке интенсивности выделения газов в отобранных пробах воздуха измерялись концентрации метана, этана, этилена, ацетилена, пропана, пропилена, бутана, кислорода, углекислого газа, оксида углерода, водорода, сероводорода и оксидов азота в пересчете на NO и NO_2 .

Приготовление опытной закладочной смеси осуществляли путем дозирования составляющих материалов и последующего их смешения. Приготовленную смесь разливали в формы для получения образцов и определения пределов прочности на сжатие и растяжение в контрольные

сроки испытаний. На каждый срок испытаний готовили не менее трех образцов составов одной рецептуры.

Предел прочности образцов-кубиков закладки на одноосное сжатие определялся с применением комплекса для испытаний образцов на базе сервогидравлического пресса INSTRON 8802. При исследовании реологических и прочностных параметров закладочных смесей на стадии лабораторных экспериментов определяли прочность на одноосное сжатие, расплыв конуса, угол

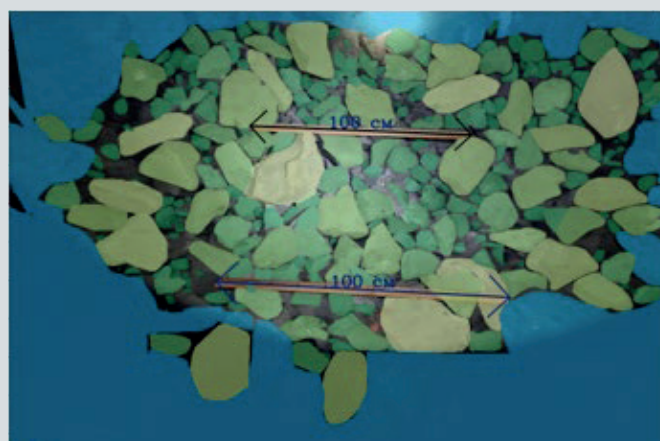
растекания смеси, водопотребность в зависимости от состава смеси, условий и продолжительности твердения.

Результаты исследований

Результаты расчетов гранулометрического состава пород в проходческом забое в программном обеспечении Pikelema CVision.PitFace на одном из подземных рудников представлены на рис. 2.

Фракция, мм	Процент от суммы площадей всех измерений	Кумулятивный процент от суммы площадей всех измерений
0–50	3,48	3,48
50–100	16,12	19,6
100–150	20,09	39,69
150–200	18,87	58,57
200–250	20,54	79,11
250–300	10,43	89,54
300–350	10,46	100
Размер, мм	Процент прохождения через сито	
P10	69,86	10
P20	100,69	20
P30	124,07	30
P40	152,74	40
P50	177,92	50
P60	210,55	60
P70	219,01	70
P80	250,89	80
P90	309,3	90
P95	314,03	95
P96	314,03	96
P97	314,03	97
P98	321,49	98
P99	321,49	99
P100	321,49	100

Параметры модели Rosin-Rammler $X_c: 186,72$	$n: 2,63$	
Параметры модели Swebrec $X_{max}: 322$	$X50: 177,66$	$b: 2,14$
Максимальный размер куска, мм	321,49	
Процент выхода негабарита	0	
Средний размер куска, мм	177,74	



Фрагмент фотографии развала породы в проходческом забое



Рис. 2. Результаты расчетов гранулометрического состава пород в проходческом забое в программном обеспечении Pikelema CVision.PitFace.

Сурет 2. Pikelema CVision.PitFace бағдарламалық жасақтамасындағы ұңғыма кенжарындағы тау жыныстарының гранулометриялық құрамын есептеу нәтижелері.

Figure 2. Results of calculations of the granulometric composition of rocks in the mining face in the Pikelema CVision.PitFace software.

Одним из главных требований, предъявляемых к закладочному материалу, используемому для управления кровлей, является ее жесткость. Усадка закладочного массива существенно зависит от его гранулометрического состава. С помощью программного обеспечения Piklema CVision. PitFace установлены максимальный и средний размеры куса в проходческом забое, составляющие, соответственно, 320 и 177 мм, что может привести к усадке сформированного породного закладочного массива до 50%.

В качестве основной технологии закладочных работ может служить смесительный способ подготовки закладочных компонентов с приготовлением бутобетонной закладочной смеси заданных параметров в шахте с последующей доставкой самоходным оборудованием в выработанное пространство. В качестве бутобетонной закладки может применяться смесь пустой породы от проходки горных выработок с водным раствором цемента, а также отходы производства, такие как золошлаки котельных рудников, золы-уноса и др.

Введение оптимального количества золы или золошлаковой смеси в бетоны улучшает удобоукладываемость, снижает усадку и водопроницаемость, обеспечивает требуемую прочность и может обеспечить морозостойкость бетона до М 100–300. Применение золы не оказывает отрицательного действия на деформации ползучести, усадки и на модуль упругости бетона обычного состава, повышает коррозионную стойкость железобетона и сульфатостойкость бетона. Наличие крупных включений в составе золошлаков негативно влияет на прочность формируемых закладочных массивов. Вредной примесью в золах, резко снижающей прочность закладки, является несгоревший уголь, который в воздушно-влажной среде окисляется быстро, впитывая в себя воду, увеличиваясь в объеме. Кроме того, он является носителем гуминовых кислот, которые разлагают вяжущее.

Способствовать инертных заполнителей к самовозгоранию, выделению вредных газов и веществ определяется на основе определения их минералогического состава, ре-

зультатов лабораторных испытаний на скорость сорбции кислорода инертными материалами, температурой воспламенения и условной скоростью окисления.

На основе лабораторных испытаний было установлено, что разница в достигаемой прочности закладки с применением золошлаков котельной с повышением ее возраста от 14 до 45 сут. и повышенном расходе цемента от 100 до 150 кг/м³ постепенно снижается в сравнении с прочностными характеристиками составов без использования золошлаков (таблица 1):

- при расходе вяжущего 100 кг/м³ и золошлаков 220 кг/м³ – практически одинаковы;

- при расходе вяжущего 120 кг/м³ и золошлаков 220 кг/м³ – в 1,9 раза;

- при расходе вяжущего 150 кг/м³ и золошлаков 220 кг/м³ – в 1,2 раза.

Паспорта прочности лабораторных образцов закладки представлены на рис. 3.

Деформационно-прочностные свойства образцов бутобетонной закладки, полученные в ходе лабораторных испытаний образцов в возрасте 45 сут., приведены в таблице 2.

В результате лабораторных испытаний образцов закладки установлено, что достигаемая прочность в 2 МПа в возрасте 45 сут. присуща составам с расходом вяжущего 100 и 120 кг/м³ при расходе золошлаков 220 кг/м³, а также при повышенном расходе золошлаков до 440 кг/м³. Прочность закладочного массива в 4 МПа в возрасте 45 сут. достигается при расходе вяжущего 120–150 кг/м³ без использования золошлаков.

Полученные в ходе лабораторных испытаний данные о прочностных характеристиках бутобетонной закладки хорошо согласуются с данными, ранее опубликованными в работе [11]. Так, в ходе испытаний образцов на месторождении Албазино (Хабаровский край) установлено, что в возрасте 14 сут. при расходе вяжущего 130 кг/м³ прочность бутобетонной закладки достигает 3,46–3,48 МПа, а в возрасте 30 сут. прочность образца при таком же расхо-

Таблица 1

Прочностные свойства образцов бутобетонной закладки в возрасте 45 сут.

Кесте 1

45 күндік бүршік бетон төсеу үлгілерінің беріктік қасиеттері

Table 1

Strength properties of rubble concrete backfill samples at the age of 45 days

Номер состава	Расход компонентов бутобетонных закладочных смесей, кг/м ³				Прочность закладочного массива, МПа, в возрасте, сутки		
	цемент	порода	золошлаки	вода	14	28	45
1	100	2335	-	190	1,02	1,12	2,14
2	100	1775	220	190	0,68	0,97	2,12
3	120	2335	-	190	1,12	2,04	4,12
4	120	1765	220	190	0,71	0,89	2,20
5	150	2250	-	200	1,20	2,20	4,22
6	150	1700	220	200	0,83	1,44	3,62
7	100	1189	440	200	0,66	0,88	2,06
8	150	1141	440	200	0,82	1,36	3,44

Таблица 2

Деформационно-прочностные свойства образцов бутобетонной закладки в возрасте 45 сут.

Кесте 2

45 күндік бүршік бетон төсеу үлгілерінің деформациялық-беріктік қасиеттері

Table 2

Deformation and strength properties of rubble concrete fill samples at the age of 45 days

Номер состава	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Модуль упругости, ГПа	Коэф-т Пуассона
3	2,21	4,12	1,33	1,17	30,79	2,91	0,31
4	1,96	2,2	0,82	0,67	27,19	1,36	0,34

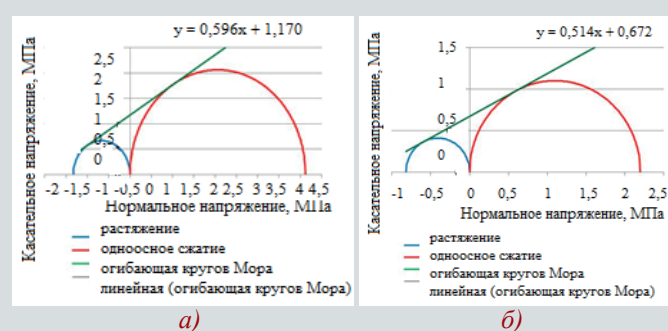


Рис. 3. Паспорта прочности лабораторных образцов закладки: а) состав № 3 (сцепление $C = 1,17$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 30,79^\circ$); б) состав № 4 (сцепление $C = 0,67$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 27,19^\circ$).

Сурет 3. Зертханалық бетбелгі үлгілерінің беріктік паспорттары: а) № 3 композиция (C адгезиясы = 1,17 МПа, ішкі үйкеліс бұрышы $\varphi = 30,79^\circ$); б) № 4 композиция (C адгезиясы = 0,67 МПа, ішкі үйкеліс бұрышы $\varphi = 27,19^\circ$).

Figure 3. Strength passports of laboratory samples of the fill: a) composition No. 3 (adhesion $C = 1.17$ МПа, angle of internal friction $\varphi = 30.79^\circ$); b) composition No. 4 (adhesion $C = 0.67$ МПа, angle of internal friction $\varphi = 27.19^\circ$).

де цемента – 4,04–4,06 МПа. В тоже время, при расходе вяжущего 80 кг/м³ прочность образцов на 14 и 30 сутки достигает 1,24–1,26 МПа и 1,37–1,42 МПа, соответственно. Таким образом, повышение расхода цемента в 2,6 раза приводит к увеличению прочности бутобетонного закладочного массива в 2,8–2,85 раза.

Обсуждение результатов

Результаты испытаний рекомендуется считать ориентировочными и требующими проведения дополнительных исследований на керновом материале. Как показывает практика, косвенный метод недостаточно надежен из-за различия условий твердения смеси в образце и в массиве. В последнем случае прочность закладки выше на 30–40% за счет влияния температурного и компрессионного факторов. Однако для достижения цели исследований он вполне может быть использован.

Возможное ухудшение динамики набора прочности в производственных условиях может объясняться снижением химической и адгезионной активности как инертного заполнителя, так и цемента в результате хранения.

Факторы, улучшающие прочность закладочного массива:

- пустые породы будут утилизироваться сразу после проходки выработок, соответственно их поверхность будет обладать более высокой химической активностью и адгезией с цементирующим материалом;
- применение качественного цемента и наличие незначительного количества инертных добавок – около 28% по твердому;
- действие масштабного фактора и компрессии закладочного массива.

Факторы, ухудшающие свойства закладочного массива:

- нестабильность фракционного состава инертного заполнителя;
- сегрегация закладочного материала по крупности в процессе укладки в выработанное пространство;
- потенциальная опасность расслоения закладки и фильтрации цементирующего материала в нижнюю часть выработанного пространства в случае передозировки воды.

Заключение

Установлено значение среднего размера куса в проходческом забое, составляющий 177 мм, что приводит к усадке сформированного породного закладочного массива до 50%.

В результате лабораторных испытаний установлено, что в возрасте 45 сут. закладка с расходом вяжущего 100 и 120 кг/м³ при расходе золотшляков 220 кг/м³, а также при повышенном расходе золотшляков до 440 кг/м³ прочность искусственного массива достигает 2 МПа. Прочность закладочного массива в возрасте 45 сут. при расходе вяжущего 120–150 кг/м³ без использования золотшляков достигает 4 МПа.

Анализ нормативной базы по производству бутобетонной закладки свидетельствует о том, что данная технология на сегодняшний день полностью не регламентирована.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крупник Л.А. Комбинат «Ачполиметалл» – основоположник пастовой закладки // Горный журнал Казахстана. 2023. № 8. С. 53–55 (на русском языке)
2. Шапошник Ю.Н., Неверов С.А., Неверов А.А. Бутобетонная закладка на подземных рудниках Крайнего Севера // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2021. Т. 8. № 1. С. 282–290 (на русском языке)
3. Петров А.Н., Петров Д.Н. Совершенствование технологии закладки выработанных камер льдопородной смесью в криолитозонах // Горный журнал. 2015. № 4. С. 26–28 (на русском языке)
4. Петлований М.В., Зубко С.А., Попович В.В., Сай К.С. Физико-химический механизм структурообразования и упрочнения в массиве обратной засыпки при заполнении подземных полостей // Вопросы химии и химических технологий. Украинский государственный химико-технологический университет. 2020. № 6. С. 142–150 (на английском языке)
5. Цзян Х., Фолл М., Ли Ю., Хан Дж. Экспериментальное исследование поведения цементированной каменной засыпки при сжатии // Строительные Материалы. 2019. Т. 213. С. 10–19 (на английском языке)
6. Сейнсбери Д.П., Сейнсбери Б.Л. Проектирование и внедрение цементированной горной засыпки на месторождении Балларат Голд // Конференция Minefill 2014, Перт, Австралия, 2014. С. 205–216 (на английском языке)
7. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых: Учебник / М.Ж. Битимбаев, Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник. Алматы. 2012. 624 с. (на русском языке)
8. Основы процессов производства и транспортирования закладочных смесей при подземной разработке месторождений полезных ископаемых: Учеб. пособие / А.Н. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, Е.П. Волков. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2015. 208 с. (на русском языке)
9. Цирель С.В., Гапонов Ю.С., Шоков А.Н. Оценка влияния гранулометрического состава на сжимаемость и пустотность закладочного материала // ГИАБ. 2013. № 12. С. 80–83 (на русском языке)
10. Методические указания по профилактическому заиливанию и тушению подземных эндогенных пожаров на медно-колчеданных рудниках Республики Казахстан. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 20 августа 2008 года, № 33 (на русском языке)
11. Исследование свойств и определение параметров закладочного материала, состоящего из бутобетонной смеси (пустые породы месторождения Албазино с цементом) совместно с отработанными покрывками на руднике месторождения Албазино: отчет о НИР/ИПКОН РАН, М., 2017. 50 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Крупник Л.А. «Ачполиметалл» комбинаты-паста бетбелгісінің негізін қалаушы // Қазақстан кен журналы. 2023. № 8. Б. 53–55 (орыс тілінде)
2. Шапошник Ю.Н., Неверов С.А., Неверов А.А. Қиыр солтүстіктің жерасты шахталарына бетон төсеу // Тау-кен ғылымдарының іргелі және қолданбалы мәселелері. 2021. Т. 8. № 1. Б. 282–290 (орыс тілінде)
3. Петров А.Н., Петров Д.Н. Криолитозондарда мұз жынысы қоспасымен өндірілген камераларды төсеу технологиясын жетілдіру // Тау-кен журналы. 2015. № 4. Б. 26–28 (орыс тілінде)
4. Петлований М.В., Зубко С.А., Попович В.В., Сай К.С. Жер асты қуыстарын толтыру кезінде толтыру массивінде құрылымды қалыптастырудың және нығайтудың физика-химиялық механизмі // Химия және химиялық технологиялар сұрақтары. Украина мемлекеттік химия-технология университеті. 2020. № 6. Б. 142–150 (ағылшын тілінде)
5. Цзян Х., Фолл М., Ли Ю., Хан Дж. Сығымдау кезіндегі цементтелген тау жыныстарының әрекетін эксперименттік зерттеу // Құрылыс материалдары. 2019. Т. 213. Б. 10–19 (ағылшын тілінде)
6. Сейнсбери Д.П., Сейнсбери Б.Л. Балларат алтын кенішінде цементтелген тау жыныстарын толтыруды жобалау және енгізу // Minefill 2014 конференциясы, Перт, Австралия, 2014. Р. 205–216 (ағылшын тілінде)
7. Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кезіндегі қалау жұмыстарының теориясы мен практикасы: Оқулық / М.Ж. Битимбаев, Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник. Алматы, 2012. 624 б. (орыс тілінде)

8. Пайдалы қазбалар кен орындарын жерасты игеру кезінде толтырғыш қоспаларды өндіру және тасымалдау процестерінің негіздері: Оқу құралы / А.Н. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, Е.П. Волков. Красноярск: Сиб. федералды университет, 2015. 208 б. (орыс тілінде)
9. Цирель С.В., Гапонов Ю.С., Шоков А.Н. Гранулометриялық құрамның қалау материалының сығылуы мен бос болуына әсерін бағалау // ГИАБ. 2013. № 12. 2013. Б. 80–83 (орыс тілінде)
10. Қазақстан Республикасының мыс-колчедан кеніштерінде жерасты эндогендік өрттерін профилактикалық Тұндыру және сөндіру жөніндегі әдістемелік нұсқаулар. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайларды және өнеркәсіптік қауіпсіздікті мемлекеттік бақылау комитетінің 2008 жылғы 20 тамыздағы № 33 бұйрығымен келісілді (орыс тілінде)
11. Альбазино кен орнының кенішінде пайдаланылған шиналармен бірге бутобетон қоспасынан (цементі бар Альбазино кен орнының бос жыныстары) тұратын толтырғыш материалдың қасиеттерін зерттеу және параметрлерін анықтау: ФЗЖ/ИПКОН РАН туралы есеп, М., 2017. 50 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Krupnik L.A. Kombinat «Achpolimetall» – osnovopolozhnik pastovoi zakladki [Achpolimetall Plant – the Founder of Paste Filling], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2023. No. 8. 53–55 pp. (in Russian)
2. Shaposhnik Yu.N., Neverov S.A., Neverov A.A. Butobetonnyaya zakladka na podzemnykh rudnikakh Krainego Severa [Rubble Concrete Filling in Underground Mines of the Far North], Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk [Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences]. 2021. V. 8. No. 1. 282–290 pp. (in Russian)
3. Petrov A.N., Petrov D.N. Sovershenstvovanie tekhnologii zakladki vyrabotannykh kamer l'doporodnoi smes'yu v kriolitozonakh [Improving the Technology of Filling Mined-Out Chambers with Ice-Rock Mixture in Cryolithozones], Gornyi zhurnal [Mining Journal]. 2015. No. 4. 26–28 pp. (in Russian)
4. Petlovanyi M.V., Zubko S.A., Popovych V.V., Sai K.S. Physicochemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities // Questions khimii i khimicheskoi tekhnologii, Ukrainian State University of Chemical Technology. 2020. No. 6. 142–150 pp. (in English)
5. Jiang H., Fall M., Li Y., Han J. An experimental study on compressive behavior of cemented rockfill // Constr. Build. Mater. 2019. V. 213. 10–19 pp. (in English)
6. Sainsbury D.P., Sainsbury B.L. Design and implementation of cemented rockfill at the Ballarat Gold Project // Conference: Minefill 2014. Perth, Australia, 2014. 205–216 pp. (in English)
7. Teoriya i praktika zakladochnykh rabot pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Uchebnik [Theory and practice of stowage operations during development of mineral deposits: Textbook], M.Zh. Bitimbaev, L.A. Krupnik, Yu.N. Shaposhnik. Almaty, 2012. 624 p. (in Russian)
8. Osnovy protsessov proizvodstva i transportirovaniya zakladochnykh smesei pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Ucheb. posobie [Fundamentals of production processes and transportation of stowage mixtures during underground development of mineral deposits: Textbook. Manual], A.N. Anushenkov, A.Yu. Stovmanenko, E.P. Volkov. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2015. 208 p. (in Russian)
9. Tsirel S.V., Gaponov Yu.S., Shokov A.N. Otsenka vliyaniya granulometricheskogo sostava na szhimaemost' i pustotnost' zakladochnogo materiala [Evaluation of the influence of granulometric composition on the compressibility and voidage of backfill material], GIAB [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2013. No. 12. 80–83 pp. (in Russian)
10. Metodicheskie ukazaniya po profilakticheskomu zailivaniyu i tusheniyu podzemnykh endogennykh pozharov na medno-kolchedannykh rudnikakh Respubliki Kazakhstan. Soglasovany prikazom Komiteta po gosudarstvennomu kontrolyu za chrezvychainymi situatsiyami i promyshlennoi bezopasnost'yu Respubliki Kazakhstan ot 20 avgusta 2008 goda, № 33 [Guidelines for preventive siltation and extinguishing of underground endogenous fires in copper-pyrite mines of the Republic of Kazakhstan. Agreed upon by the order of the Committee for State Control over Emergencies and Industrial Safety of the Republic of Kazakhstan dated August 20, 2008, No. 33] (in Russian)
11. Issledovanie svoistv i opredelenie parametrov zakladochnogo materiala, sostoyashchego iz butobetonnoi smesi (pustye porody mestorozhdeniya Albazino s tsementom) sovmestno s otrabotannymi pokryshkami na rudnike mestorozhdeniya Albazino: otchet o NIR/IPKON RAN [Study of properties and determination of parameters of backfill material consisting of rubble concrete mixture (waste rock of the Albazino deposit with cement) together with spent tires at the Albazino mine: Research Report/ IPKON RAS], Moscow, 2017. 50 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Шапошник С.Н., д.т.н., доцент, ассоциированный профессор Школы наук о Земле Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), shaposhniksergey@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-7721-0706>

Крупник Л.А., д.т.н., профессор, профессор-исследователь кафедры «Технологические машины и оборудование» Института энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), leonkr38@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5779-8218>

Шапошник Ю.Н., д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории подземной разработки рудных месторождений Института горного дела СО РАН (г. Новосибирск, Россия), shaposhnikyury@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5425-0158>

Портала В.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы Кузбасского государственного технического университета (г. Кемерово, Россия), portola2@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7920-1248>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шапошник С.Н., т.ғ.д., доцент, Шығыс Қазақстан техникалық университетінің Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры Д. Серікбаев атындағы (Өскемен қ., Қазақстан)

Крупник Л.А., т.ғ.д., профессор, Ә. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институтының «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының зерттеуші профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Шапошник Ю.Н., т.ғ.д., профессор, РФА СБ Тай-кен институтының кен орындарын жерасты игеру зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (Новосибирск қ., Ресей)

Портала В.А., т.ғ.д., профессор, Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің аэрология, еңбекті қорғау және табиғат кафедрасының профессоры (Кемерово қ., Ресей)

Information about the authors:

Shaposhnik S.N., D.Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the School of Earth Sciences, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Krupnik L.A., D.Sc. (Eng.), Professor, Research Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Shaposhnik Yu.N., D.Sc. (Eng.), Professor, Leading Researcher, Laboratory of Underground Mining of Ore Deposits, Institute of Mining SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Portola V.A., D.Sc. (Eng.), Professor, Professor, Department of Aerology, Occupational Safety and Environment, Kuzbass State Technical University (Kemerovo, Russia)



TECH MINING RUSSIA

www.techmining.ru

7-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

17-18

сентября
2025

Москва

Novotel Moscow City



16+



*30 лет развития
инноваций
и технологий!*

2025

miningmetals 30 YEARS OF SUCCESS CENTRAL ASIA

Юбилейная Центрально-Азиатская Международная Выставка
ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ РУД И МИНЕРАЛОВ

17 • 19 сентября
АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН

Организаторы



+7 727 258 34 34

mining-metals.kz

mining_shows_kaz

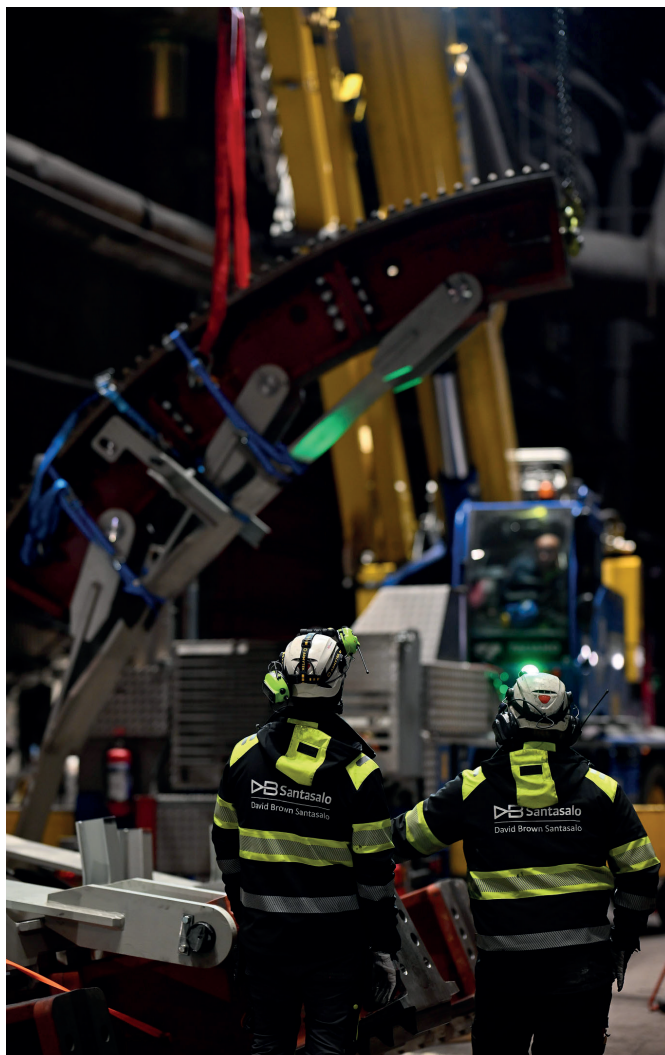
miningmetals.kz



ИНВЕСТИЦИЯ В ДЕСЯТИЛЕТИЯ СТАБИЛЬНОСТИ: СЕГМЕНТНЫЕ ВЕНЦОВЫЕ ШЕСТЕРНИ DBSANTASALO

В тяжелой промышленности, включая горнодобывающую, цементную и энергетическую отрасли, надежность работы производственных механизмов имеет первостепенное значение. Одними из наиболее требовательных к качеству каждой детали являются вращающиеся конструкции – крупные печи, мельницы, конвейеры, барабаны. А одним из самых важных элементов данного оборудования являются венцовые шестерни, передающие мощность и крутящий момент.

Долгое время перед производителями стояла задача по повышению прочности материала для шестерней. Это было необходимо, чтобы уберечь оборудование от повреждений и износа, которые в свою очередь приводят к дорогостоящему простою и многократным ремонтам. Решение проблемы предложила компания **David Brown Santasalo (DBSantasalo)** – мировой лидер в производстве промышленных редукторов. Им стало изготовление сегментных венцовых шестерней из аустенитного высокопрочного чугуна (ADI).



Промышленная экосистема Казахстана динамично развивается и трансформируется. В январе-марте 2025 года индекс промышленного производства (ИПП) составил 106,7% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, что отражает уверенный рост деловой активности. Рост заметен в горнодобывающем секторе – 7,1%, обрабатывающей промышленности – 7,2%, машиностроении – 11,2%. В этом году страна планирует реализовать рекордное количество индустриальных проектов за последние пять лет. Запуск 190 проектов с инвестициями в 1,5 трлн тенге позволит создать 20,1 тыс. новых рабочих мест. При выходе на полную мощность объем производства составит 2,2 трлн тенге.

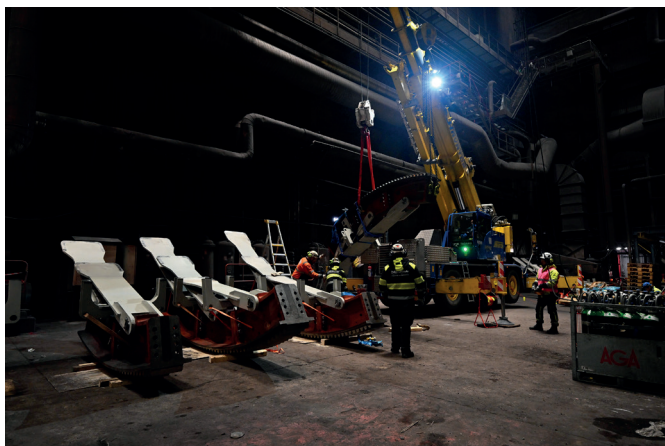
Материал как ценность

Для того, чтобы предложить заказчикам максимально эффективные решения, DBSantasalo задействовала собственные научно-технические мощности и усовершенствовала технологию производства венцовых шестерней. Результат превзошел все ожидания. По сравнению с традиционными аналогами, которые обычно изготавливаются из литой или ковкой стали, произведенные шестерни из чугуна ADI обладают большей прочностью и износостойкостью, поэтому подходят для самых тяжелых условий эксплуатации. За счет своей микроструктуры, состоящей из игольчатого феррита и высокоуглеродистого аустенита, материал выдерживает экстремальные нагрузки и минимизирует износ произведенной из него детали даже в абразивных средах. Высокая усталостная прочность обеспечивает способность выдерживать циклические нагрузки и сопротивляться усталостному разрушению – наиболее частой причине поломок традиционных шестерней. Кроме этого, чугун ADI хорошо выдерживает удары и другие повреждения без растрескивания.

Austempered Ductile Iron (ADI) — это разновидность ковкого чугуна, обладающая высокой прочностью и пластичностью благодаря своей уникальной микроструктуре. Его создание стало результатом двух процессов: стандартнойковки чугуна и аустемперирования — специальной термической обработки металла.

Сегменты качества

Еще одним ключом к качеству продукции стал выбор конструкции сегментированных венцовых шестерней, состоящих из нескольких частей (зубьев). Они соединяются болтами и образуют цельную передачу, а каждый сегмент проходит индивидуальную механическую и термическую обработку. Такое решение позволило производителю предложить заказчиком детали, свойства которых обеспечивают непрерывность и высокую эффективность производственных процессов.



Сегментная конструкция позволяет изменять диаметр, толщину и количество зубьев шестерни. Это дает специалистам возможность точнее настроить рабочие процессы, распределение нагрузки, наладить оптимальную передачу мощности, тем самым сделав производство более кастомизированным. Монтаж не требует использования специального подъемного оборудования и кранов. А в случае повреждения или износа одного или нескольких сегментов, замене подлежат только они, а не вся конструкция.

Сегментные шестерни изготавливаются быстрее, чем традиционные, потому что каждый сегмент может обрабатываться параллельно. Еще одним немаловажным преимуществом является упрощенная транспортировка – конструкции поставляются в стандартных контейнерах, что сокращает транспортные расходы и задержки при перевозке.

Доказанная эффективность:

21 год безупречной службы на железорудной шахте

Ярким примером эффективности конструкций DBSantasalo является 21-летний опыт эксплуатации венцовой шестерни из чугуна ADI в составе печи на железорудной шахте компании LKAB в Сваппаваре (Швеция).

Ранее специалисты производства, где использовались традиционные венцовые шестерни, регулярно сталкивались с проблемами преждевременного износа и поломок оборудования, что приводило к дорогостоящим простоям и частым ремонтам. Интенсивные нагрузки, воздействие абразивов и высоких температур предъявляли экстремальные требования к прочности и износостойкости компонентов вращающихся механизмов.

В 2003 году, столкнувшись с очередной проблемой, руководство компании LKAB обратилось в компанию DBSantasalo в поиске долгосрочного и надежного решения. Учитывая специфику эксплуатации и ограничения традиционных венцовых шестерней, специалисты предложили уникальное решение: сегментную венцовую шестерню из чугуна ADI диаметром 8,4 метра с двойной зубчатой передачей. Венцовую шестерню (ADI) разработали для эксплуатации печи с мощностью 320 кВт при 27 об/мин. Поставка и монтаж новой шестерни были выполнены в сжатые сроки, минимизируя простой производственной линии заказчика.

Спустя 21 год, в 2024 году, в ходе планового технического обслуживания была проведена инспекция венцовой

шестерни DBSantasalo с целью оценки состояния и определения необходимости изменения вращения. Результаты поразили специалистов LKAB: инспекция не выявила существенного износа профиля передачи, трещин в конструкции или каких-либо иных признаков разрушения материала. Зубчатая передача будто бы только сошла с заводского конвейера. По результатам замеров качество изделия полностью соответствовало требованиям, предъявляемым к новым венцовым шестерням ADI стандарта ISO 9.

Стратегия лидерства

Отвечая на запросы отрасли и обладая глубокой экспертизой, DBSantasalo разрабатывает не просто компоненты для механизмов, а комплексные инженеринговые решения, адаптированные под конкретные условия эксплуатации и задачи каждого предприятия. Например, сочетание свойств чугуна ADI и сегментной конструкции венцовых шестерней позволяет добиться выдающихся эксплуатационных характеристик. При этом в комплекс услуг компании также входят рекомендации по эксплуатации, вплоть до использования смазочных материалов и методов смазки, что тоже способствует увеличению срока работы. Подобные решения призваны содействовать промышленным предприятиям, находящимся на этапе колоссального наращивания мощностей, максимально быстро модернизировать производство и повысить его эффективность на пути к решению стратегических задач по развитию реального сектора экономики в стране.



Код МРНТИ 52.13.05:52.01.77

Б. Хусан, Ж.Б. *Нығыметов, Ж.А. Азимбаева, Е. Бекболат

НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Аннотация. Целью настоящего исследования является оценка целесообразности и ожидаемой эффективности внедрения автоматизированной системы управления (АСУ) компании ROGR Electronics на золоторудном месторождении Ашиктас. В статье рассматриваются возможные изменения в организации труда, повышение точности технологических операций и улучшение взаимодействия между подразделениями предприятия при условии внедрения АСУ. Проводится анализ предполагаемого влияния системы на ключевые производственные и экономические показатели, такие как коэффициент использования оборудования (КИО) и коэффициент технической готовности (КТГ). На основе опыта других предприятий в Казахстане, успешно внедривших аналогичные системы, обосновывается эффективность предлагаемых цифровых решений. В заключение подчеркивается необходимость внедрения подобных технологий для обеспечения устойчивого развития горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: цифровизация, автоматизированная система управления (АСУ), эффективность, коэффициент использования оборудования, коэффициент технической готовности, месторождение полезных ископаемых.

Цифрлық технологияларды ашық тау-кен жұмыстарында қолданудың тиімділігі

Аннотация. Осы зерттеудің мақсаты Ашықтас алтын кен орнында rogr Electronics компаниясының автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) енгізудің орындылығы мен күтілетін тиімділігін бағалау болып табылады. Мақалада сәйкесті ұйымдастырудағы ықтимал өзгерістер, технологиялық операциялардың дәлдігін арттыру және АБЖ енгізілген жағдайда кәсіпорын бөлімшелері арасындағы өзара әрекеттесуді жақсарту қарастырылады. Жабдықты пайдалану коэффициенті (КБТ) және техникалық дайындық коэффициенті (КТГ) сияқты негізгі өндірістік және экономикалық көрсеткіштерге жүйенің болжамды әсеріне талдау жүргізіледі. Осындай жүйелерді сәтті енгізген Қазақстандағы басқа кәсіпорындардың тәжірибесі негізінде ұсынылатын цифрлық шешімдердің тиімділігі негізделеді. Қорытындылай келе, тау-кен өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін осындай технологияларды енгізу қажеттілігі атап өтілді.

Түйінді сөздер: цифрландыру, басқарудың автоматтандырылған жүйесі (АБЖ), тиімділік, жабдықты пайдалану коэффициенті, техникалық дайындық коэффициенті, пайдалы қазбалар кен орны.

Effectiveness of the application of digital technologies in open-pit mining operations

Abstract. The purpose of this study is to assess the feasibility and expected effectiveness of implementing the automated control system (ACS) of ROGR Electronics at the Ashiktas gold mine. The article discusses possible changes in labor organization, increasing the accuracy of technological operations and improving interaction between the enterprise departments subject to the implementation of the ACS. An analysis is made of the expected impact of the system on key production and economic indicators, such as the equipment utilization rate (EUR) and the technical readiness rate (TRR). Based on the experience of other enterprises in Kazakhstan that have successfully implemented similar systems, the effectiveness of the proposed digital solutions is substantiated. In conclusion, the need to implement such technologies to ensure sustainable development of the mining industry is emphasized.

Key words: digitalization, automated control system (ACS), efficiency, equipment utilization rate, technical readiness factor, mineral deposit.

Введение

Цифровизация горных работ становится важным направлением для будущего развития горнодобывающей отрасли. В условиях современного рынка, где высокая конкуренция, изменяющиеся экологические требования, стандарты безопасности, а также необходимость повышения производительности и снижения затрат становятся важнейшими вызовами, автоматизация процессов может стать ключевым фактором для успешной адаптации и улучшения результатов. Внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) предлагает значительные возможности для повышения эффективности работы предприятий, улучшения уровня безопасности, сокращения операционных расходов и повышения конкурентоспособности. В частности, использование системы АСУ от компании ROGR Electronics на золоторудном месторождении Ашиктас рассматривается как один из перспективных вариантов внедрения таких технологий.

Ожидается, что внедрение АСУ в будущем позволит оптимизировать важнейшие процессы, такие как управление горнотранспортным комплексом (ГТК), планирование технического обслуживания и ремонтов, а также координацию производственных потоков. Основной целью настоящего исследования является оценка потенциального воздействия системы АСУ на ключевые производственные и экономические показатели горнодобывающего предприятия, включая коэффициенты использования оборудования (КИО), коэффициенты технической готовности (КТГ) и возможные потери и разубоживание (ПиР). Также

рассматривается анализ ожидаемого экономического эффекта от внедрения цифровых решений.

В рамках работы приводится теоретическое обоснование преимуществ цифровых технологий в горном производстве, а также анализ их возможного воздействия на деятельность предприятий в Казахстане. Предполагается, что результаты исследования помогут сформировать обоснованные выводы о целесообразности внедрения подобных систем на других горнодобывающих предприятиях как в Казахстане, так и за рубежом, а также будут способствовать дальнейшему развитию и совершенствованию технологических процессов в отрасли.

Методы исследования

Внедрение АСУ ROGR Electronics на месторождении Ашиктас

Золоторудное месторождение Ашиктас представляет собой один из ключевых объектов горнодобывающей отрасли Казахстана, где в условиях сложной геологической структуры осуществляется разработка руд открытым способом. Для эффективного управления таким комплексным производством требуется постоянная координация между подразделениями, точный оперативный контроль технологических процессов и высокий уровень планирования [1, 2]. Внедрение АСУ от компании ROGR Electronics рекомендуется как стратегический шаг, направленный на повышение технологической и экономической эффективности добычи, сокращение потерь, минимизацию влияния человеческого фактора и обеспечение промышленной безопасности.

АСУ ROGR Electronics представляет собой интегрированную цифровую платформу, которая будет обеспечивать сбор, анализ и визуализацию производственных данных в режиме реального времени. В случае внедрения, система должна охватить все ключевые производственные участки месторождения, включая диспетчерскую службу, горный участок, геологический отдел, планово-технический отдел и маркшейдерскую службу. В работе представлено описание предполагаемых функций каждого подразделения в рамках системы, а также анализ возможных изменений в их работе после внедрения АСУ.

Диспетчерская служба. На предприятии Ашиктас диспетчерская служба выполняет координационную функцию, обеспечивая оперативное управление всеми производственными процессами, связанными с добычей, транспортировкой, техническим обслуживанием оборудования. Основными задачами службы являются распределение техники по участкам, контроль выполнения сменных заданий, обеспечение безопасности производственных операций и взаимодействие между службами предприятия.

В случае внедрения АСУ ROGR Electronics, планируется радикальное изменение работы диспетчерской службы. Вместо использования разрозненных источников информации и бумажной документации, диспетчеры смогут получить доступ к централизованной цифровой панели управления, которая будет отображать в реальном времени текущее состояние оборудования, перемещение техники, производственные показатели и статус работ на каждом

участке. Система будет интегрирована с устройствами, установленными на всей технике, что позволит получать точные координаты машин, фиксировать простои, а также контролировать расход топлива и техническое состояние узлов.

АСУ также будет обеспечивать автоматизированное формирование отчетов, прогнозирование отклонений и расчет ключевых производственных индикаторов, таких как коэффициент использования парка, время цикла, уровень выполнения плана. Ожидается, что благодаря внедрению алгоритмов анализа данных повысится скорость и точность принятия управленческих решений. Система также предполагает реализацию модуля голосовой связи и обмена сообщениями между диспетчерами и машинистами, что улучшит оперативность реагирования на внештатные ситуации и повысит коммуникацию на производстве.

Горный участок. Горный участок месторождения Ашиктас осуществляет непосредственную добычу полезного ископаемого в пределах проектного карьера. В обязанности участка входят выполнение вскрышных и добычных работ, организация работы экскаваторов и самосвалов, контроль над соблюдением параметров уступов, а также обеспечение соблюдения техники безопасности при проведении горных работ [3].

В случае внедрения АСУ, планируется использование системы REACS (Rogr Electronics Automatic Controlling System) – высокотехнологичной платформы для управления процессом экскавации. Эта система будет интегри-

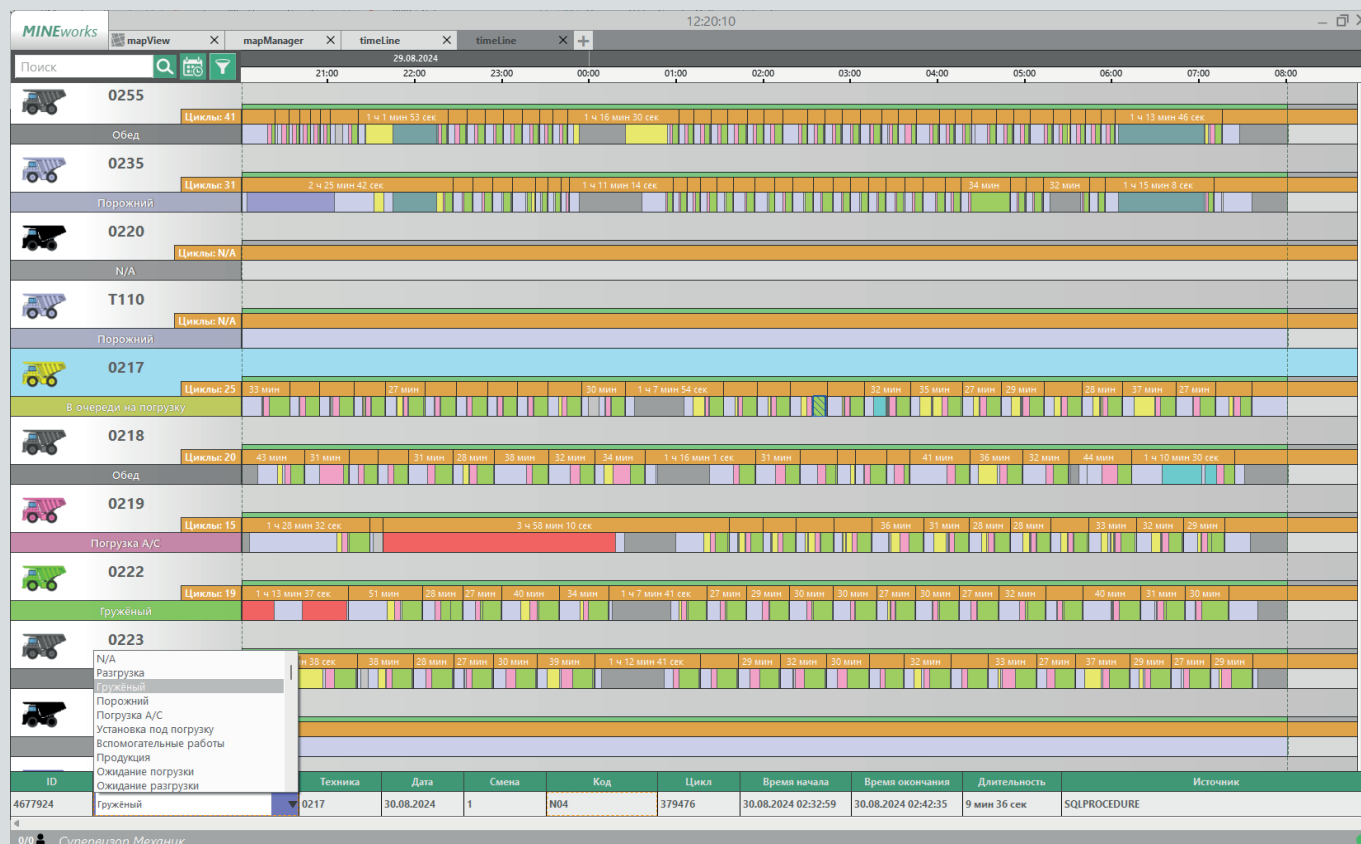


Рис. 1. Мониторинг работы автосамосвалов.
Сурет 1. Автосамосвалдардың жұмысын бақылау.
Figure 1. Monitoring the operation of dump trucks.

рована в архитектуру ROGR Electronics и позволит в реальном времени контролировать положение ковша экскаватора относительно проектного контура, глубины и угла откоса. С помощью GNSS-навигации и бортовых датчиков REACS обеспечит точность экскавации до 20 см, что снизит переработку лишней массы и уменьшит вероятность значительного отклонения от проектных параметров бортов карьера.

Автоматизация функций экскаватора предполагает отображение проектной поверхности [4], подсказки оператору по ведению черпания, автоматическое определение зон перегрузки материала, а также идентификацию типа выемки (руда, вскрыша, забой). Это повысит точность выполнения сменных заданий и упростит контроль качества работ. Данные об объемах извлеченной массы, времени работы, состоянии оборудования и эффективности машинистов будут поступать в диспетчерскую систему, позволяя анализировать производительность по сменам, недогруз или перерасход техники.



Рис. 2. Визуализация процесса погрузки.
Сурет 2. Жүктеу процесін визуализациялау.
Figure 2. Visualization of the loading process.

Геологический отдел предприятия отвечает за изучение геологической структуры месторождения, построение трехмерных моделей рудных тел, анализ данных разведки и подготовку информации для планирования выемки. В сферу его задач также входит контроль над качеством добываемой руды, анализ проб и ведение геологической документации.

До внедрения АСУ большая часть геологических работ выполняется вручную или с использованием обособленных программных решений. Однако при внедрении ROGR Electronics геологический отдел получит доступ к единому пространству данных, в которое будут поступать сведения от буровых установок, экскаваторов и маркшейдерской службы.

С использованием цифровой платформы геологи смогут визуализировать рудные тела в трехмерной среде, анализировать контактные зоны и задавать сортовые планы. Это будет важно для выстраивания сценариев оптимального выбора направления экскавации. АСУ также позво-

лит передавать актуальные геологические границы в систему REACS, что поможет экскаваторам избежать смещения руды и вскрыши.

Это будет способствовать улучшению рудоконтроля со стороны геологов, так как оператор экскаватора, не являясь специалистом в области геологии, сможет в реальном времени видеть сортовые планы геологов и свое местоположение относительно них. Таким образом, он будет точно понимать, какую руду он в данный момент отгружает, и сможет направить ее на рудный склад по сортам, определенным геологами. Это снизит необходимость постоянного присутствия геологов на забоях экскаваторов и позволит более эффективно использовать время работы отдела. Также это сократит вероятность ошибок из-за человеческого фактора, которые могут привести к потерям и разубоживанию руды [5].

Маркшейдерская служба. Маркшейдерская служба предприятия Ашиктас выполняет пространственно-геодезический контроль всех этапов горных работ. Сюда входит вынос проектных контуров в натуру, контроль над соблюдением проектных параметров уступов, анализ смещения массива после буровзрывных работ и построение фактических моделей выемки. Эти данные критически важны для всех производственных и проектных подразделений.

С внедрением АСУ ROGR Electronics маркшейдерская служба получит доступ к системе спутникового позиционирования высокой точности (RTK) и цифровым моделям местности [6-8]. Измерения будут проводиться в автоматическом режиме, а результаты мгновенно передаваться в систему для анализа. Фактические отметки будут сравниваться с проектными благодаря позиционированию экскаватора, что позволит оператору экскаватора видеть отклонения от проектных параметров задолго до повторной съемки и своевременно корректировать выемку [9, 10]. Это снизит необходимость постоянного присутствия маркшейдеров на забоях экскаваторов и позволит более эффективно использовать время работы отдела.

Система сбора и анализа данных в реальном времени будет играть ключевую роль в АСУ на месторождении Ашиктас. Основной задачей будет являться получение и обработка больших объемов данных, поступающих от различных сенсоров, датчиков, а также других информационных источников, установленных в процессе добычи. Эти данные будут включать параметры работы оборудования, состояния горных машин, транспортных средств, а также технологические показатели, такие как температура, давление, вибрации, расход топлива и другие.

Результаты

Оценка эффективности АСУ на основе производственных и экономических показателей

Для обоснования целесообразности внедрения АСУ на горнодобывающем предприятии была проведена аналитическая оценка ожидаемых изменений ключевых производственных и экономических показателей. В рамках данного анализа рассмотрены такие параметры, как КИО, КТГ, а также Пир, которые являются одними из важнейших индикаторов эффективности производственной деятельности. Анализ основан на сравнении текущего состояния показа-

телей с предполагаемыми значениями, достижимыми при условии внедрения АСУ. Прогнозные значения определены на основании моделей функционирования аналогичных цифровых решений в горнодобывающей отрасли, а также с учетом технических возможностей предлагаемой системы автоматизации (таблица 1).

Таблица 1
Прогнозные значения моделей функционирования цифровых решений в горнодобывающей отрасли

Кесте 1
Тау-кен өндіру саласындағы цифрлық шешімдердің жұмыс істеу модельдерінің болжамды мәндері

Table 1
Predicted values of the models of functioning of digital solutions in the mining industry

Показатель	Текущее значение	Ожидаемое значение	Изменение
КИО	76,8%	85,7%	+8,9%
КТГ	85,9%	86,2%	+0,3%
Потери	4,2%	4,0%	-0,2%
Разубоживание	7,1%	6,0%	-1,1%

КИО отражает долю времени, в течение которого техника используется по прямому назначению. Предполагаемое увеличение на 8,9 процентных пункта обусловлено возможностью системного управления загрузкой оборудования, точного распределения техники и автоматизированного учета простоев.

КТГ характеризует долю времени, в течение которого техника находится в исправном состоянии. Небольшое, но положительное изменение (+0,3 п.п.) ожидается вследствие внедрения регулярного мониторинга технического состояния и оптимизации графиков технического обслуживания.

Показатель потерь полезного ископаемого может быть снижен с 4,2% до 4,0% за счет более точного позиционирования техники, исключения ошибок при экскавации, а также сокращения объемов недоизвлеченной руды.

Разубоживание, то есть извлечение материала с пониженным содержанием полезного компонента, может быть снижено на 1,1 процентных пункта (с 7,1% до 6,0%) благодаря улучшению рудоконтроля, точному следованию проектными границами и оперативной передаче геологических данных операторам техники [11, 12].

Закключение

Внедрение АСУ на месторождении Ашиктас представляет собой важный шаг на пути к модернизации и цифровизации процессов добычи и переработки полезных ископаемых. Ожидаемые изменения в производственных и экономических показателях подтверждают высокий потенциал АСУ в повышении общей эффективности работы предприятия. Прежде всего, система обеспечит значительное улучшение в управлении горной техникой. Это проявится в росте КИО, который, по прогнозам, увеличится на 8,9%, а также в повышении КТГ на 0,3%. Эти улучшения обеспечат большую стабильность в работе техники, сокращение времени простоя и более эффективное распределение ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация: М.: URSS, 2014. 548 с. (на русском языке)
2. Рославцева Ю.Г., Орлова З.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ: Иркутск: ИРНТУ, 2020. 168 с. (на русском языке)
3. Ялтанец И.М. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Гидромеханизированные и подводные горные работы: М.: Горная книга, 2017. 220 с. (на русском языке)
4. Корнилов С.В., Наговицын О.В., Славиковская Ю.О. и др. Планирование открытых горных работ: М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 346 с. (на русском языке)
5. Аброськин А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах: Томск: ТПУ, 2015. с. 122–130 (на русском языке)
6. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации // Горная промышленность. 2020. № 1. С. 8–12 (на русском языке)
7. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Разработка, развитие и применение информационных систем управления в горнодобывающей промышленности России и других странах: от ГИС-технологий до интеллектуального горного предприятия: М.: ИПКОН РАН, 2017. с. 308–323 (на русском языке)
8. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Технология открытых горных работ: М.: Горное дело, 2008. 471 с. (на русском языке)
9. Ондар Э.-Д.В., Чооду О.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ: Кызыл: ТувГУ, 2019. 96 с. (на русском языке)
10. Клейн Б., Альтун Н.Э., Бамбер А.С. Новая эра открытой добычи полезных ископаемых: интеграция горнодобывающих предприятий и передовые технологии: Бока-Ратон: CRC Press, 2014. 28 с. (на английском языке)
11. Мюллер С., Ассибей-Бонсу У., Бафи Э. и др. Добыча полезных ископаемых становится цифровой / Труды 39-го Международного симпозиума, Бока-Ратон: CRC Press, 2020. 400 с. (на английском языке)

12. Хуструлид У.А., Кухта М., Мартин Р.К. Планирование и проектирование открытых горных работ, комплект из двух томов и компакт-дисков: Бока-Ратон: CRC Press, 2013. 1308 с. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ржевский В.В. Ашық тау-кен жұмыстары. Технология және кешенді механикаландыру: М.: URSS, 2014. 548 б. (орыс тілінде)
2. Рославцева Ю.Г., Орлова З.А. Ашық тау-кен жұмыстарының технологиясы және кешенді механикаландыруы: Иркутск: ИРНИТУ, 2020. 168 б. (орыс тілінде)
3. Ялтәнец И.М. Ашық тау-кен жұмыстарының технологиясы және кешенді механикаландыруы. Гидромеханизацияланған және су астындағы тау-кен жұмыстары: М.: Тау кітабы, 2017. 220 б. (орыс тілінде)
4. Корнилков С.В., Наговицын О.В., Славиковская Ю.О. және т. б. Ашық тау-кен жұмыстарын жоспарлау: М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 346 б. (орыс тілінде)
5. Аброскин А.С. Ашық тау-кен жұмыстарында заманауи автоматтандыру жүйелерін қолдану: Томск: ТПУ, 2015. Б. 122–130 (орыс тілінде)
6. Клебанов А.Ф. Ашық тау-кен жұмыстарын Автоматтандыру және роботтандыру: цифрлық трансформация тәжірибесі // Тау-кен өнеркәсібі. 2020. № 1. Б. 8–12 (орыс тілінде)
7. Трубецкой К.Н., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Ресейдің және басқа елдердің тау-кен өнеркәсібінде басқарудың ақпараттық жүйелерін әзірлеу, дамыту және қолдану: ГАЗ технологиясынан бастап Зияткерлік тау-кен кәсіпорнына дейін: М.: ИПКОН РАН, 2017. Б. 308–323 (орыс тілінде)
8. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Ашық тау-кен жұмыстарының технологиясы: М.: Тау-кен, 2008. 471 б. (орыс тілінде)
9. Ондар Е.-Д.В., Чооду О.А. Ашық тау-кен жұмыстарының технологиясы және кешенді механикаландыруы: Қызыл: ТувГУ, 2019. 96 б. (орыс тілінде)
10. Клейн Б., Альтун Н.Э., Бамбер А.С. Жер үсті өндірудің жаңа дәуірі: тау-кен интеграциясы және озық технологиялар: Бока Ратон: CRC Press, 2014. 28 б. (ағылшын тілінде)
11. Мюллер С., Ассибей-Бонсу В., Бафи Э. және т. б. Тау-кен өнеркәсібі цифрлық жолмен жүреді / 39-шы халықаралық симпозиум материалдары, Бока Ратон: CRC Press, 2020. 400 б. (ағылшын тілінде)
12. Хуструлид В.А., Кухта М., Мартин Р.К. Ашық шұңқырды жоспарлау және жобалау, екі томдық жиынтық және CD-ROM пакеті: Бока Ратон: CRC Press, 2013. 1308 б. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Rzhovsky V.V. Otkrytye gornye raboty. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya [Open-Pit Mining: Technology and Integrated Mechanization], Moscow: URSS, 2014. 548 p. (in Russian)
2. Roslavtseva Y.G., Orlova Z.A. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya otkrytykh gornyykh rabot [Technology and Integrated Mechanization of Open-Pit Mining], Irkutsk: IRNITU, 2020. 168 p. (in Russian)
3. Yaltanets I.M. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya otkrytykh gornyykh rabot. Gidromekhanizirovannye i podvodnye gornye raboty [Technology and Integrated Mechanization of Open-Pit Mining: Hydromechanized and Underwater Mining Operations], Moscow: Gornaya Kniga, 2017. 220 p. (in Russian)
4. Kornilkov S.V., Nagovitsyn O.V., Slavikovskaya Y.O. et al. Planirovanie otkrytykh gornyykh rabot [Open-Pit Mining Planning], Moscow: IPiR Media, 2021. 346 p. (in Russian)
5. Abroskin A.S. Primenenie sovremennykh sistem avtomatizatsii na otkrytykh gornyykh rabotakh [Application of Modern Automation Systems in Open-Pit Mining], Tomsk: TPU, 2015. 122–130 pp. (in Russian)
6. Klebanov A.F. Avtomatizatsiya i robotizatsiya otkrytykh gornyykh rabot: opyt tsifrovoi transformatsii [Automation and Robotization of Open-Pit Mining: Experience of Digital Transformation], Gornaya promyshlennost' [Mining industry]. 2020. No. 1. 8–12 pp. (in Russian)
7. Trubetskoy K.N., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. Razrabotka, razvitie i primeneniye informatsionnykh sistem upravleniya v gornodobyvayushchei promyshlennosti Rossii i drugikh stranakh: ot GIS-tekhnologii do intellektual'nogo gornogo predpriyatiya [Development and Application of Information Management Systems in the Mining Industry in Russia and Abroad: From GIS Technologies to Intelligent Mining Enterprises], Moscow: IPKON RAS, 2017. 308–323 pp. (in Russian)
8. Anistratov Y.I., Anistratov K.Y. Tekhnologiya otkrytykh gornyykh rabot [Open-Pit Mining Technology], Moscow: Gornoe Delo, 2008. 471 p. (in Russian)

9. Ondar E.-D. V., Choodu O.A. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya otkrytykh gornykh rabot [Technology and Integrated Mechanization of Open-Pit Mining]*, Kyzyl: TuvSU, 2019. 96 p. (in Russian)
10. Klein B., Altun N.E., Bamber A.S. *A New Era in Open Pit Mining: Mine-Mill Integration and Enabling Technologies*: Boca Raton: CRC Press, 2014. 28 p. (in English)
11. Mueller C., Assibey-Bonsu W., Baafi E. et al. *Mining Goes Digital | Proceedings of the 39th International Symposium*, Boca Raton: CRC Press, 2020. 400 p. (in English)
12. Hustrulid W.A., Kuchta M., Martin R.K. *Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack*: Boca Raton: CRC Press, 2013. 1308 p. (in English)

Сведения об авторах:

Хусан Б., старший преподаватель кафедры РМПИ, Ph.D, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), husanb@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0996-348X>

Ныгыметов Ж.Б., магистрант 2-го курса кафедры РМПИ, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nygymetovzh@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-0356-7423>

Азимбаева Ж.А., к.п.н., старший преподаватель, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), zh.azimbayeva@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9247-1138>

Бекболат Е., ассистент кафедры РМПИ, магистр технических наук, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), yerkegul.10@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9255-0543>

Авторлар туралы мәліметтер:

Хусан Б., ПҚКӨ кафедрасының аға оқытушысы, Ph.D, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ныгыметов Ж.Б., ПҚКӨ кафедрасының 2 курс магистранты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Азимбаева Ж.А., п.ғ.к., аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Бекболат Е., РМПИ кафедрасының ассистенті, техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Khussan B., senior lecturer of the Department of Working out of mineral deposits, Ph.D, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nygymetov Zh.B., 2nd year master's student of the Department of the Department of Working out of mineral deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Azimbayeva Zh., Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Teacher, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Bekbolat Ye., Assistant Professor of the Department of the Russian Academy of Medical Sciences, Master of Technical Sciences, NAO Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.01.11

К.Н. Трубецкой¹, Ю.П. Галченко¹, Г.В. Калабин¹, *М.Ж. Битимбаев²¹ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН»
(Москва, Россия),²Институт геологических наук имени академика К.И. Сатпаева
(Алматы, Казахстан)

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КАК НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ НЕДР ЗЕМЛИ

Аннотация. В статье, на основе анализа формирования необратимых негативных экологических последствий во всех Геосферах нашей планеты, в условиях существующей технократической цивилизации, дается научное обоснование необходимости более широкого использования природоподобных горных технологий в их конвергентной форме. Сформулированные биогенные принципы построения таких технологий следует рассматривать как перспективные направления развития горных технологий, реализация которых позволит снизить техногенное воздействие на естественную биоту до неизбежного уровня, обеспечивающего возможность ее самовосстановления после отработки запасов месторождений.

Ключевые слова: устойчивое развитие, коэволюция антагонистов, природоподобные конвергентные и гибридные технологии, биотехнологические принципы, природно-технические кластерные системы, экологизация технологической парадигмы.

Табиғи ұқсас тау-кен технологиялары – Жер қойнауын кешенді игеру кезіндегі жаңа ғылыми бағыт

Аннотация. Бұл мақалада қазіргі технократиялық өркениет жағдайында планетаның барлық геосфераларында қайтымсыз теріс экологиялық салдардың қалыптасуын талдау негізінде табиғи тәріздес тау-кен технологияларын конвергентті тәсілде кеңінен енгізудің ғылыми-әдістемелік негіздемесі жасалған. Мұндай технологияларды жобалаудың тұжырымдалған биогендік қағидаттары тау-кен өндірісін дамытудың перспективалық бағыттары ретінде қарастырылады. Оларды жүзеге асыру табиғи биотаның техногендік жүктемесін сөзсіз деңгейге дейін төмендетуге және кен орындарын игеруден кейін табиғи қалпына келу мүмкіндігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тұрақты даму, антагонистік коэволюция, табиғи тәріздес конвергентті және гибриді технологиялар, биотехнологиялық қағидаттар, табиғи-техникалық кластерлік жүйелер, технологиялық парадигманы экологиялық оңтайландыру.

Nature-like mining technologies as a new scientific direction in the integrated development of the Earth's interior

Abstract. The article, based on the analysis of the formation of irreversible negative environmental consequences in all Geospheres of our planet, in the conditions of the existing technocratic civilization, provides a scientific justification for the need for a wider use of nature-like mining technologies in their convergent form. The formulated biogenic principles for the construction of such technologies should be considered as promising areas for the development of mining technologies, the implementation of which will reduce the technogenic impact on the natural biota to an inevitable level that ensures the possibility of its self-restoration after the development of deposits.

Key words: sustainable development, coevolution of antagonists, nature-like convergent and hybrid technologies, biotechnological principles, natural-technical cluster systems, greening of the technological paradigm.

Введение

Впечатляющие достижения в количественном и качественном развитии Техносферы сопровождаются не менее масштабными и практически неуправляемыми экологическими издержками, в виде быстрого истощения доступных природных ресурсов, спонтанного накопления углекислого газа в атмосфере и невероятного количества самых разнообразных твердых отходов, поступающих в геонамическую среду. В сочетании с постоянным ростом размеров сельскохозяйственных и урбанизированных территорий это выглядит как быстрое и необратимое поглощение Антропосферой всех естественных Геосфер нашей планеты [1–3]. Скорость этого процесса уже значительно превышает возможности естественного восстановления устойчивой биотической и абиотической среды природных экосистем. Действующая технологическая парадигма развития минерально-сырьевого комплекса, как сложная функциональная система, содержит в себе неразрешимое внутреннее противоречие между динамической необходимостью трансформации минерально-сырьевого комплекса, в условиях быстрого изменения горно-геологических условий разработки полезных ископаемых и возможностью преодоления возникающих при этом разнообразных и масштабных экологических последствий. Именно поэтому, привлечение по остаточному принципу огромных материальных и финансовых средств для борьбы с этими последствиями практически никак не сказывается на результатах этой борьбы [4].

Бурное развитие глобального экологического кризиса требуют незамедлительного создания и внедрения экологических технологических систем во всех сферах хозяйственной деятельности.

Экологизация на этой научной основе технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса, как материального и технического базиса современной технократической цивилизации, позволит разрешить обозначенное противоречие путем организации взаимодействия Природы и Техносферы на разработанных в экологической философии акад. Н.Н. Моисеева принципах коэволюции антагонистов [5].

Материалы и методы

В современном мире первостепенное значение приобретает создание дифференцированных методологических подходов и методов решения экологических задач на основе создания технологий, обеспечивающих получение всех необходимых человеку видов продукции в системе ограничений, определяемых условиями сохранения естественной биоты Земли [1–3].

Происходящие в последние годы изменения в общественном сознании неизбежно приводят к «экологизации» мышления во всех сферах человеческой деятельности. Наиболее наглядным отражением этого является постоянно нарастающий интерес к «природоподобным» технологиям, с которыми связывают основные надежды и пер-

спективные пути преодоления глобального экологического кризиса [6]. В самом общем виде, природоподобными следует считать технологии, развитие которых происходит на основе знаний о живой природе. В такой постановке легко обозначить основные типы и виды природоподобных технологий (рис. 1).



Рис. 1. Систематизация содержания понятия природоподобной технологии.

Сурет 1. Табиғи ұқсас технология ұғымының мазмұнын жүйелеу.

Figure 1. Systematization of the content of the concept of nature-like technology.

Основополагающая концепция создания природоподобных горнотехнических систем с новыми экологическими качествами формируется за счет сближения (конвергенции) функциональной структуры этих систем с функциональной структурой систем биологических, которые уже обладают необходимыми нам качествами. Интеллектуальной базой развития этого типа технологий являются знания о законах и принципах формирования, изменения и функционирования естественных биологических систем, а методической основой – элементарная теория устойчивости и бифуркаций в сочетании с положениями гомеостатики [7].

Результаты исследований

Принимая во внимание доказанную в работах [1, 8] высокую степень структурного соответствия схем движения биологического вещества в природных системах и

добытого литосферного вещества в системах горнотехнических, при создании конвергентных технологий можно использовать биологические показатели с заменой их содержательных элементов на соответствующие по смыслу целевые технологические аналоги (таблица 1).

Такая форма конвергенции биологических и технических знаний в технологической системе реализуется на основе теоретических положений гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путем управления противоречиями при сохранении постоянства (саморегуляции) внутреннего состояния системы (рис. 2).

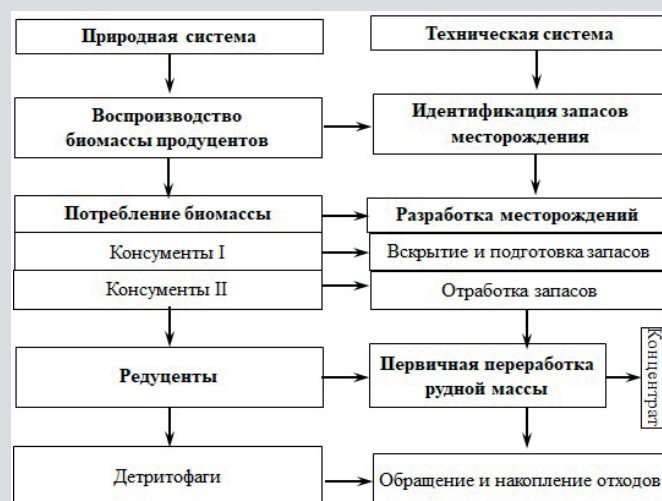


Рис. 2. Схема обращения биомассы и вещества литосферы в природных и технических системах.

Сурет 2. Табиғи және техникалық жүйелердегі биомасса мен литосфера заттарының айналымының схемасы.

Figure 2. Scheme of circulation of biomass and lithosphere matter in natural and technical systems.

На современном уровне знаний считается установленным, что устойчивость биологических систем, даже в тех случаях, когда отдельные их компоненты не устойчивы,

Таблица 1

Содержание смысловой трансформации типов вещества

Кесте 1

Заттар түрлерінің мағыналық түрлену мазмұны

Table 1

Contents of semantic transformation of substance types

	В биосистемах	В техносистемах
1.	Валовая биомасса продуцентов	Ресурсные запасы категории Р _з
2.	Чистая биомасса продуцентов	Ресурсные запасы категории Р ₁
3.	Валовая биомасса консументов	Запасы балансовые и забалансовые
4.	Чистая биомасса консументов	Балансовые запасы всех категорий
5.	Первичная биомасса редуцентов	Добытая горная масса
6.	Чистая биомасса редуцентов	Рудная масса
7.	Валовая биомасса детритофагов	Конечная продукция и отходы первичной переработки
8.	Чистая биомасса детритофагов	Конечная продукция первичной переработки

обеспечивается одновременным пополнением следующих основополагающих принципов [1].

Гомеостатическая трансформация этих принципов в функциональную структуру природно-технических систем освоения недр показана в таблице 2.

Таблица 2

Создание смысловой трансформации принципов функционирования

Кесте 2

Функциялану қазғадаттарының мағыналық түрленуін қалыптастыру

Table 2

Creation of a semantic transformation of the principles of functioning

	В биосистемах	В техносистемах
1.	Однонаправленность эволюции	Превентивность в принятии решений
2.	Замкнутый оборот биологического вещества	Замкнутый цикл обращения вещества литосферы
3.	Пропорциональность продуцированной биомассы длине пищевых цепей	Избирательная выемка полезного ископаемого
4.	Ценотическая иерархия видов	Биологическая толерантность горных технологий к видам – эдификаторам фитоценозов
5.	Соответствие биопродуктивности и плотности потока энергии Солнца	Энергоснабжение горнотехнических систем за счет энергии возобновляемых источников

На этой научной базе впервые сформулированы биотехнологические принципы построения горнотехнических систем, соответствующих по их функциональной структуре системам биологическим.

Принцип превентивности – устранение или минимизация негативного влияния наиболее значимых техногенных факторов до начала массового извлечения вещества литосферы, на основе целенаправленного структурирования во времени и пространстве применяемой горной технологии.

Согласно современным представлениям о литосфере, как сплошной среде с разномасштабными неоднородностями, избыточные напряжения (или их эквивалент – неупругие напряжения) на этих неоднородностях возникают лишь при конечной скорости деформирования во внешнем контуре неоднородности тела и, со временем, самопроизвольно релаксируют [9].

При этом, форма устранения влияния геомеханических факторов реализуется за счет опережающего создания в процессе добычных работ устойчивых объемных несущих

конструкций каркаса. Разделение обрабатываемого участка на выемочные единицы, положение которых в пространстве, а также размеры и форма фиксированы при создании каркасной системы искусственных массивов различного назначения, позволяет реализовать обозначенные выше принципы построения природоподобных горных технологий обработки для каждой выемочной единицы в строгом соответствии с локальными особенностями ее геологического строения (рис. 3).

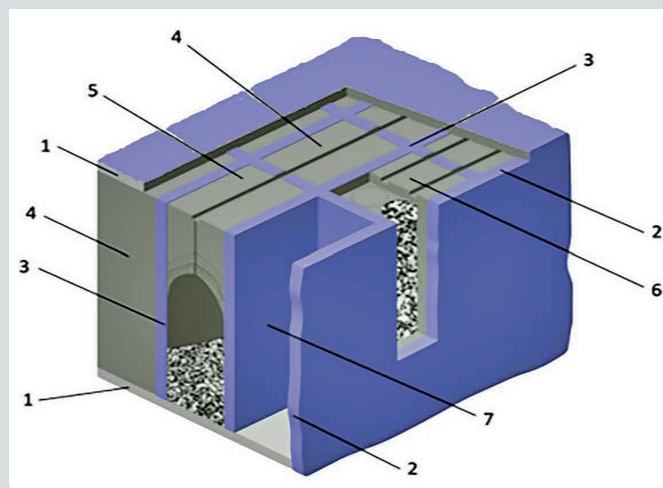


Рис. 3. Принципиальная схема построения и применения «каркасной» горной технологии [1].

Искусственные массивы: 1 – ограждающие горизонтальные и 2 – вертикальные; 3 – разделительные; очистные блоки: 4 – подготовленные, 5 – взрыво-гравитационной и 6 – взрыво-механической геотехнологиями; 7 – отработанные.

Сурет 3. «Қаңқалық» тау-кен технологиясын құру және қолдану принциптік схемасы [1]. Жасанды массивтер: 1 – қоршайтын көлденең және 2 – тік массивтер; 3 – бөлгіш массивтер; тазалау блоктары: 4 – дайындалған, 5 – гравитациялық геотехнология арқылы жару арқылы өндірілетін, 6 – механикалық геотехнология арқылы жару арқылы өндірілетін; 7 – өндіріліп біткен блоктар.

Figure 3. Conceptual Diagram of the Design and Application of the «Framework» Mining Technology [1].

Artificial massifs: 1 – enclosing horizontal and 2 – vertical; 3 – dividing; cleaning blocks: 4 – prepared, 5 – worked by blasting with gravity and 6 – blasting with mechanical geotechnologies; 7 – worked out.

Принцип замкнутого цикла обращения вещества литосферы в процессе освоения недр отражает безотходность функционирования всех природных систем. Возможности реализации этого принципа при подземной разработке рудных месторождений определяются характером использования вещества и структуры принятой горной технологии. В самом общем виде принято выделять две основные ступени замкнутого пространства цикла обращения твердого вещества: непосредственный замкнутый цикл в пределах того же самого производственного про-

цесса; опосредованный замкнутый цикл при временном или пространственном переносе.

Формируемый закладочный массив проходит три ступени изменения агрегатного состояния и трансформируется сначала в жидкопластическую среду, а затем – в вязкую и хрупковязкую. В результате материал закладки полностью теряет подвижность.

Трудоемкие операции по формированию закладочного массива можно устранить, если в качестве закладки использовать частично обезвоженную пульпу в виде спрессованных брикетов, изготавливаемых на поверхности и затем закладываемых в выработанное пространство. В этом случае проблема заключается в поиске наиболее эффективного и экономичного вяжущего материала. Перспективы реализации такого подхода появляются при освоении недр Арктики за счет использования **криогеоресурса** зоны многолетней мерзлоты в качестве вяжущей составляющей, где низкие температуры горных пород (**постоянная геологическая величина**) и наружного воздуха (**переменная климатическая величина**) дают возможность замораживать брикеты с 10%-ной по влажности, на поверхности. Затем, на втором этапе, осуществляется доставка замороженных брикетов и заполнение выработанного пространства. Третий этап – это кольтмация пустот материалом пульпы. Четвертый этап – замораживание двухфазного закладочного материала и формирование вторичного массива многолетнемерзлых пород. На рис. 4 представлена технологическая схема такого типа конвергентной горной технологии с замкнутым циклом обращения твердого вещества [10].

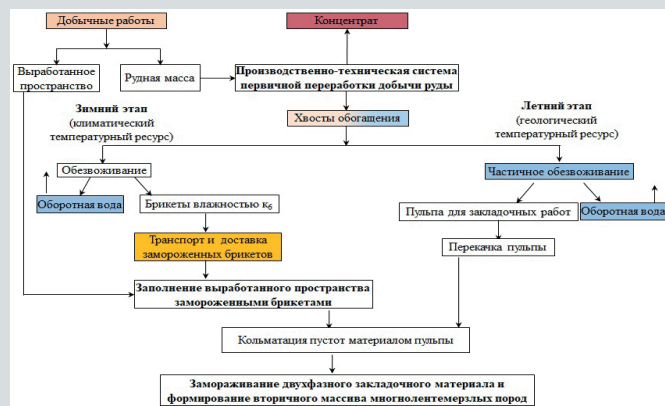


Рис. 4. Технологическая схема конвергентной горной технологии с замкнутым циклом обращения.

Сурет 4. Зат айналымының тұйық циклі бар конвергентті тау-кен технологиясының технологиялық схемасы.

Figure 4. Technological scheme of convergent mining technology with a closed cycle of solid matter circulation in an underground mine.

Такой поход позволяет сохранить неустойчивые экологические системы Арктики за счет ликвидации обширных хвостохранилищ и частично восстановить массив многолетних мерзлых пород.

Принцип избирательности трактуется нами как добыча и выдача на поверхность только полезного ископа-

емого. Избирательная выемка полезного ископаемого, как целевая функция формирования природоподобной горной технологии, является, по сути, технологической реакцией на сложность геологической структуры месторождений [11]. С учетом принципиальных возможностей разделения руды и породы по естественным или искусственно заданным отличительным признакам систематизация способов отделения руды от породы при разработке рудных месторождений примет вид, представленный на рис. 5.



Рис. 5. Систематизация технологий разделения руды и породы при разработке рудных месторождений.

Сурет 5. Рудалы кен орындарын игеру кезінде кен мен жынысты бөлу технологияларын жүйелеу.

Figure 5. Systematization of technologies for separation of ore and rock during the development of ore deposits.

Принцип экологической толерантности – регулирование взаимодействия техно- и биосферы исключительно по биологическим показателям и критериям, отражающим свойства и реакцию естественной биоты на техногенные факторы горного производства.

Процесс техногенного разрушения литосферы при получении необходимых полезных ископаемых порождает разветвленную систему разнообразных воздействий на абиоту и биоту экосистем природно-территориальных комплексов, в пределах которых располагаются добывающие предприятия. При изучении всего комплекса этих вопросов необходимо дифференцированно рассматривать техногенные факторы, как свойство той или иной геотехнологии и воздействие этих факторов – как реакцию конкретной биологической системы, попавшей под его влияние.

Общая структура техногенных факторов, оказывающих влияние на природную среду при ведении горных работ, показана на рис. 6.

Принцип энергобезопасности формулируется как предпочтительное использование энергии естественных возобновляемых источников.

Добыча полезных ископаемых из литосферы является одной из самых энергоемких отраслей хозяйственной деятельности человека. Парадоксальность сложившейся ситуации заключается в том, что, получая практически всю доступную нам энергию за счет весьма энергоемкого разрушения литосферы, основную долю полученной таким образом энергии мы затрачиваем на сам процесс добычи энергоносителей. В перспективе эта доля будет только возрастать по мере увеличения глубины разработки, усложнения структуры осваиваемых месторождений и снижения их географической и экономической доступности.



Рис. 6. Систематизация техногенных факторов горного производства по [1].

Сурет 6. Тау-кен өндірісінің техногендік факторларын жүйелеу [1] бойынша.

Figure 6. Systematization of technogenic factors of mining production.

Результаты выполненных аналитических исследований позволили сформировать концепцию технологической стратегии использования минеральных ресурсов литосферы в режиме предупреждения развития кризисных явлений (рис. 7).

В рамках этой концепции реализация сформулированных биотехнологических принципов формирования конвергентных горных технологий позволяет устранить локальные противоречия за счет баланса уровня воздействия с естественной устойчивостью биоты, а также определить исполнительную структуру основного объекта технологических исследований.

Тогда структура природно-технической системы освоения месторождения трансформируется в сложную кластерную систему, состоящую из двух полиобъектных кластеров – исполнительного и управляющего (рис. 8).

Исполнительная, в нашем случае – техническая, составляющая реализует основную функцию системы – добычу полезного ископаемого, а управляющая – регулирует ее проведение с учетом изменяющихся условий среды и требований сохранения естественной биоты Земли. Отсюда с очевидностью следует, что функциональная эффективность технической составляющей в общей системе всегда будет определяться характером взаимодействия природного и технического кластеров по критериям экологической безопасности применяемых технологий.

Учитывая многообразие и сложность структуры различных геологических типов месторождений полезных ископаемых, целесообразно последовательно замещать существующие горные технологии конвергентными, начиная с реализации отдельных биотехнологических принципов, постепенно приближаясь в идеале к реализации одновременного выполнения комплексной проблемы – парировать негативное воздействие на окружающий нас природный мир.

Выводы

Природоподобные технологии в форме конвергентных горных технологий можно считать безальтернативной

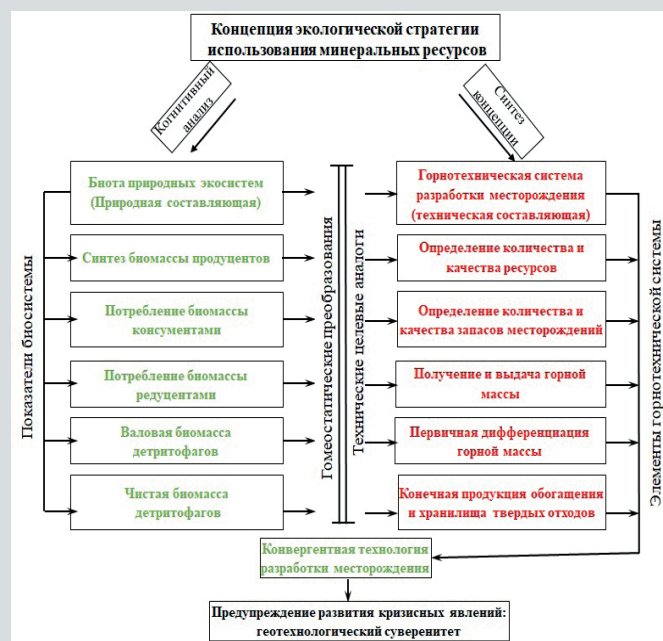


Рис. 7. Концепция технологической стратегии освоения недр.

Сурет 7. Жер қойнауын игерудің технологиялық стратегиясы тұжырымдамасы.

Figure 7. Concept of technological strategy for subsoil development.

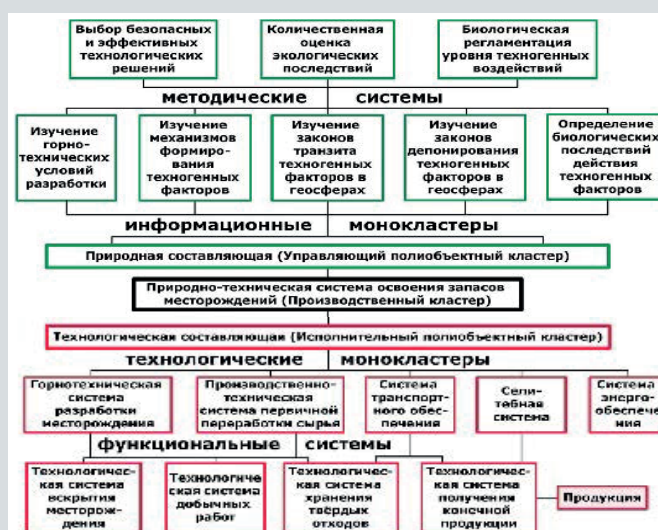


Рис. 8. Схема функциональной структуры природно-технической системы освоения запасов месторождений.

Сурет 8. Кен орындарының қорларын игеру бойынша табиғи-техникалық жүйенің функционалдық құрылымының схемасы.

Figure 8. Scheme of the functional structure of the natural-technical system for development of deposit reserves.

перспективой модернизации технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса при реализации глобальной концепции устойчивого развития.

Сформулированные биогенные принципы построения таких технологий следует рассматривать как

перспективные направления развития горных технологий, реализация которых позволит снизить техногенное воздействие на естественную биоту до неиз-

бежного уровня, обеспечивающего возможность ее самовосстановления после отработки запасов месторождений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная технология комплексного освоения недр – проблемы и перспективы: М.: ООО «Научтехлитиздат», 2020. 368 с. (на русском языке)
2. Стоимость производства возобновляемой энергии в 2021 году. (Июль 2022 г.). Прогноз мировой энергетики 2024. <https://www.iea.org/data-and-statistics> (на английском языке).
3. Jose S., Kokko A., Onifade M., Nurmi P. Движение к устойчивому развитию: появление экологически чистых технологий и методов добычи полезных ископаемых // Research Gate. 2024. 22 с. (на английском языке)
4. Gohen M.N., Coelho V.N. Оперативное планирование открытых горных работ с использованием многоагентных систем // Procedia Computer Science. 2021. Т. 192. С. 1677–1686 (на английском языке)
5. XXXII Моисеевские чтения – научно-практическая конференция «Система «УЧИТЕЛЬ» академика Н.Н. Моисеева и современная историческая обстановка: Философские, эколого-политологические и педагогические основания для научного анализа», Москва: РАН, 5–7 марта 2025 (на русском языке)
6. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2017. № 3–4 (118–119). Т. 22. С. 103–108 (на русском языке)
7. Горский Ю.М., Степанов А.М., Теслинов А.Г. Гомеостатика: гармония в игре противоречий: Иркутск: Репроцентр AI, 2008. 634 с. (на русском языке)
8. Одум Ю. Экология: М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с. (на русском языке)
9. Умаров А.Р., Еременко В.А. Развитие вторичного поля напряжений в условиях применения каркасной горной конструкции // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 4. С. 22–27 (на русском языке)
10. Калабин Г.В., Галченко Ю.П., Хачатрян К.С. Теплообменные процессы восстановления массива многолетней мерзлоты из отходов обогащения при освоении недр // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 5. С. 70–78 (на русском языке)
11. Hodge R.A., Ericsson M., Lof O. et al. Глобальная горнодобывающая промышленность: корпоративный профиль, сложность и изменения // Mineral Economics. 2022. Т. 35. Вып. 3–4. С. 587–606 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДӘБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Жер қойнауын кешенді игерудің табиғи ұқсас технологиясы: мәселелер мен перспективалар: М.: «Научтехлитиздат» ЖШҚ, 2020. 368 б. (орыс тілінде)
2. 2021 жылы жаңартылатын энергияны өндіру құны (2022 ж. шілде). 2024 жылға арналған әлемдік энергетикалық болжам. <https://www.iea.org/data-and-statistics> (ағылшын тілінде)
3. Jose S., Kokko A., Onifade M., Nurmi P. Тұрақтылыққа қарай ілгерілеу: жасыл тау-кен технологиялары мен тәжірибелерінің пайда болуы // Research Gate. 2024. 22 б. (ағылшын тілінде)
4. Gohen M.N., Coelho V.N. Ашық тәсілмен кен өндіруді жоспарлау: көп агентті жүйелерді қолдану // Procedia Computer Science. 2021. Т. 192. Б. 1677–1686 (ағылшын тілінде)
5. XXXII Моисеев оқулары – ғылыми-практикалық конференция «Академик Н.Н. Моисеевтің «ҰСТАЗ» жүйесі және қазіргі тарихи жағдай: ғылыми талдау үшін философиялық, экологиялық-саяси және педагогикалық негіздер», Мәскеу: Ресей Ғылым академиясы, 5–7 наурыз 2025 ж. (орыс тілінде)
6. Ковальчук М.В., Нарайкин О.С. Табиғи ұқсас технологиялар – жаңа мүмкіндіктер мен жаңа қатерлер // Қауіпсіздік индексі. 2017. № 3–4 (118–119). Т. 22. Б. 103–108 (орыс тілінде)
7. Горский Ю.М., Степанов А.М., Теслинов А.Г. Гомеостатика: қайшылықтар ойынындағы үйлесім: Иркутск: «Репроцентр AI», 2008. 634 б. (орыс тілінде)
8. Одум Ю. Экология: М.: «Мир», 1986. Т.1. 328 б. (орыс тілінде)
9. Умаров А.Р., Еременко В.А. Қаңқалық тау-кен құрылымын қолдану жағдайында екінші ретті кернеу өрісінің дамуы // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2023. № 4. Б. 22–27 (орыс тілінде)
10. Калабин Г.В., Галченко Ю.П., Хачатрян К.С. Қалдықтарды пайдалану арқылы мәңгі тоң массивтерін қалпына келтірудегі жылу алмасу процестері // Пайдалы қазбаларды игерудің физика-техникалық мәселелері. 2022. № 5. Б. 70–78 (орыс тілінде)
11. Hodge R.A., Ericsson M., Lof O. және басқалар. Әлемдік тау-кен өнеркәсібі: корпоративтік бейне, күрделілік және өзгеріс // Mineral Economics. 2022. Т. 35. № 3–4. Б. 587–606 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. *Prirodopodobnaya tekhnologiya kompleksnogo osvoeniya nedr – problemy i perspektivy* [Nature-like Technology for Integrated Subsoil Development: Problems and Prospects], Moscow: «Nauchtekhizdat» OOO, 2020. 368 p. (in Russian)
2. Renewable Power Generation Costs in 2021 (July 2022). *World Energy Outlook 2024*. <https://www.iea.org/data-and-statistics> (in English)
3. Jose S., Kokko A., Onifade M., Nurmi P. *Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices* // ResearchGate. 2024. 22 p. (in English)
4. Gohen M.N., Coelho V.N. *Open pit mining operational planning using Multi-Agent Systems* // *Procedia Computer Science*. 2021. V. 192. 1677–1686 pp. (in English)
5. XXXII Moiseevskie chteniya – nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sistema «UChITEL'» akademika N.N. Moiseeva i sovremennaya istoricheskaya obstanovka: Filosofskie, ekologo-politologicheskie i pedagogicheskie osnovaniya dlya nauchnogo analiza» [XXXII Moiseev Readings – Scientific and Practical Conference «Academician N.N. Moiseev's 'TEACHER' System and the Current Historical Situation: Philosophical, Ecological, Political Science, and Pedagogical Foundations for Scientific Analysis»], Moscow: RAN, March 5–7, 2025 (in Russian)
6. Kovalchuk M.V., Naraykin O.S. *Prirodopodobnye tekhnologii – novye vozmozhnosti i novye ugrozy* [Nature-like Technologies – New Opportunities and New Threats], *Indeks bezopasnosti* [Security Index]. 2017. No. 3–4 (118–119). V. 22. 103–108 pp. (in Russian)
7. Gorsky Yu.M., Stepanov A.M., Teslinov A.G. *Gomeostatika: garmoniya v igre protivorechii* [Homeostatics: Harmony in the Game of Contradictions], Irkutsk: Reprocenter AI, 2008. 634 p. (in Russian)
8. Odum Yu. *Ekologiya* [Ecology], Moscow: Mir, 1986. V. 1. 328 p. (in Russian)
9. Umarov A.R., Eremenko V.A. *Razvitie vtorichnogo polya napryazhenii v usloviyakh primeneniya karkasnoi gornoi konstruksii* [Development of Secondary Stress Fields under the Use of Frame Mining Structures], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2023. No. 4. 22–27 pp. (in Russian)
10. Kalabin G.V., Galchenko Yu.P., Khachatryan K.S. *Teploobmennye protsessy vosstanovleniya massiva mnogoletnei merzloty iz otkhodov obogashcheniya pri osvoenii nedr* [Heat Exchange Processes for the Restoration of Permafrost Massifs from Processing Waste in Subsoil Development], *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and Technical Problems of Mineral Mining]. 2022. No. 5. 70–78 pp. (in Russian)
11. Hodge R.A., Ericsson M., Lof O. et al. *The Global Mining Industry: Corporate Profile, Complexity, and Change* // *Mineral Economics*. 2022. V. 35. Issue 3–4. 587–606 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Трубецкой К.Н., академик РАН, главный научный сотрудник ИПКОН им. акад. Н.В. Мельникова РАН (г. Москва, Россия), ipkon-dir@ipkonran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9246-638X>

Галченко Ю.П., проф., д.т.н., главный научный сотрудник ИПКОН им. акад. Н.В. Мельникова РАН (г. Москва, Россия), schtrek33@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3776-0292>

Калабин Г.В., проф., д.т.н., главный научный сотрудник ИПКОН им. акад. Н.В. Мельникова РАН (г. Москва, Россия), kalabin.g@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0081-187X>

Битимбаев М.Ж., профессор, д.т.н., главный научный сотрудник ИГН им. акад. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), mbitimbayev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0870-8591>

Авторлар туралы мәліметтер:

Трубецкой К.Н., Ресей Ғылым академиясының академигі, Н.В. Мельников атындағы Әлеуметтік-экономикалық мәселелер институтының бас ғылыми қызметкері (Мәскеу қ., Ресей)

Галченко Ю.П., профессор, т.ғ.д., Н.В. Мельников атындағы Әлеуметтік-экономикалық мәселелер институтының бас ғылыми қызметкері (Мәскеу қ., Ресей)

Калабин Г.В., профессор, т.ғ.д., Н.В. Мельников атындағы Әлеуметтік-экономикалық мәселелер институтының бас ғылыми қызметкері (Мәскеу қ., Ресей)

Битимбаев М.Ж., профессор, т.ғ.д., К.И. Сәтбаев атындағы Мемлекеттік ғылыми-зерттеу институтының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Trubetskoy K.N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher at the Melnikov Institute of Socio-Economics of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Galchenko Yu.P., Professor, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher at the Melnikov Institute of Socio-Economics of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Kalabin G.V., Professor, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher at the Melnikov Institute of Socio-Economics of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Bitimbayev M.Zh., Professor, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher at the Institute of State Research named after Academician K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 38.49.17

*С.С. Айтбаева, Ж.А. Шаяхметова, М.А. Мизерная

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

ҚАЛБА-НАРЫМ АЙМАҒЫНЫҢ ҚАЛБА КЕШЕНІНІҢ І ФАЗАСЫНЫҢ ГРАНИТОИДТАРЫНЫҢ КЕНДІЛІГІ

Аннотация. Қалба кешенінің (P_1) сирек металды минералдану ерекшеліктері қаралып, негізгі пегматит кен алаңдары мен қалба кешенінің І фазасының гранитоидтары арасындағы генетикалық байланыс анықталды. Қалба-Нарым аймағында бірнеше кенді аймақтар ерекшеленеді. Негізгі сирек металды кен аймағы Орталық Қалбамен шектеседі. Мұнда зерттелген сирек металды (Ta, Nb, Be, Li, Sn) пегматит нысандары – Огнев-Бакенді және Асу-Бұлақ кен алаңдары шоғырланған. Солтүстік-Батыс Қалбада Кварцты кен орны және берилл-сподумен минералданумен сипатталатын бірқатар кенбілімдер орналасқан. Мұндағы кен орындары мен кенбілімдері қалба кешенінің ІІ фазасының гранитоидтарымен байланысты болады. Бұл кен орындарының барлығы заманауи геофизикалық әдістер мен жоғары дәлдіктегі геохимияны қолдана отырып, толық зерттеуді қажет етеді.

Түйінді сөздер: Қалба-Нарым аймағы, қалба кешені, фаза, граниттер, пегматиттер, сирек элементтер.

Ore-bearing potential of granitoids of Phase I of the Kalba Complex in the Kalba-Narym region

Abstract. The features of rare-metal mineralisation of the Kalba complex (P_1) are considered, the genetic connection between granitoids of the I phase of the Kalba complex and the main pegmatite ore fields is established. Several ore zones are distinguished within the Kalba-Narym zone. The main rare-metal ore zone is confined to the Central Kalba. The most studied rare-metal (Ta, Nb, Be, Li, Sn) pegmatite objects – the Ognevsko-Bakennoe and Asu-Bulak ore fields – are concentrated here. In North-Western Kalba there is the Kvarcevoye deposit and a number of ore occurrences characterised by beryl-spodumene mineralisation. Deposits and occurrences here are confined to granitoids of phase II of the Kalba complex. All these deposits require further exploration using modern geophysical methods and high-precision geochemistry.

Key words: Kalba-Narym zone, Kalbinsky complex, phase, granites, pegmatites, rare elements.

Рудоносность гранитоидов I фазы калбинского комплекса Калба-Нарымской зоны

Аннотация. Рассмотрены особенности редкометалльной минерализации калбинского комплекса (P_1), установлена генетическая связь между гранитоидами I фазы калбинского комплекса и основными пегматитовыми рудными полями. В пределах Калба-Нарымской зоны выделяется несколько рудных зон. Основная редкометалльная рудная зона приурочена к Центральной Калбе. Здесь сосредоточены наиболее изученные редкометалльные (Ta, Nb, Be, Li, Sn) пегматитовые объекты – Огневско-Бакенное и Асу-Булакское рудные поля. В Северо-Западной Калбе расположено месторождение Кварцевое и ряд рудопроявлений, характеризующиеся берилл-сподуменовый минерализацией. Месторождения и проявления здесь приурочены в гранитоидом II фазы калбинского комплекса. Все эти месторождения требуют доизучения с использованием современных геофизических методов и высокоточной геохимии.

Ключевые слова: Калба-Нарымская зона, калбинский комплекс, фаза, граниты, пегматиты, редкие элементы.

Кіріспе

Қазақстан экономикасы табиғи ресурстарға тәуелділігін төмендетуге ұмтылуына қарамастан, пайдалы қазбалар ондаған жылдар бойы ел кірістерінің экспорттық бөлігінде маңызды рөл атқарады. Бүкіл әлем сияқты, біздің елімізде мыс, қорғасын, мырыш, алтын және өнеркәсіп үшін маңызды басқа да шикізат қорлары тұрақты түрде азайып келеді. Қазақстан үшін дәстүрлі шикізат түрлерінің қорлары, тұрақты толықтырылмауының салдарынан, шикізат нарығын қалыптастырудың жаңа тәсілдердерін дамытуды талап етеді. Осы бағытта табысты ілгерілеу үшін ағымдағы жағдайды талдау, минералдық-шикізат базасының даму динамикасын зерделеу, пайдалы қазбалардың қажеттілігін талдау және республика үшін дәстүрлі емес шикізат түрлерінің нарығын дамытуды жоспарлау қажет. «Сыни металдар» тізіміне кіретін шикізаттың аса маңызды түрлерінің бірі ретінде сирек металдардың минералдық-шикізат базасын дамыту Қазақстан экономикасын дамыту үшін маңызды қадам бола алады. Ең алдымен, шығысқа назар аудару керек, мұнда Қалба-Нарым сирек металды белдеуінде сирек кездесетін металдардың (тантал, литий, қалайы, вольфрам және сирек жерлер) 200-ден астам орташа және ұсақ кенбілімдері шоғырланған.

Мақаланың мақсаты – Қалба-Нарым сирек металл аймағындағы қалба кешенінің І фазасының гранитоидтары мен Орталық Қалбадағы кенді пегматиттер арасындағы байланысты зерттеу.

Негізгі міндеттер – осы аумақта пайда болған негізгі гранитоидты массивтердің микроэлементтерінің құрамын (спайдерграммалар негізінде) және қалба кешенінің І фазасының гранитоидтарымен байланысты пегматиттердің (Бакенді кен орнының пегматиттері мысалында) кенділі-

гін зерттеу; олардың кеңістіктік және генетикалық байланысын дәлелдейтін деректер алу.

Қалба-Нарым аймағы магматизмінің ерекшеліктері

Қалба-Нарым аймағы Үлкен Алтайдың құрылымдық элементтерінің бірі болып табылады. Аймақ күрделі геологиялық құрылымымен және сирек металды кендену профилімен сипатталады. Орталық Қалбаның сирек металды кендері бар пегматит өрістері ең үлкен өнеркәсіптік маңыздылыққа ие.

Әр жылдары Қалба-Нарым аймағының магматизмін зерттеуге Ю.А.Садковский, С.Г. Шавло, Ж.А. Айталиев, Г.Н. Щерба, В.И. Кузнецов, Б.А. Дьячков және басқалар үлкен үлес қосты [1, 2]. Қалба-Нарым аймағының барлық гранитоидтары қабылданған магматизм схемасына байланысты үштен беске дейінгі түрлі кешендерден тұратын Қалба-Нарым батолитіне біріктіріледі. Қалба-Нарым батолит шегінде жұмыстарға сәйкес (Дьячкова және басқалар, 1994) кунуш плагиограниті, қалба гранодиори-гранитті және монастырлық лейкогранит кешендері ерекшеленеді [1–3].

Қалба кешені (P_1) Қалба-Нарым плутонының бірқатар ірі гранитті массивтерімен көрсетілген: Ертіс маңы, Белогорск, Миролюбов, Қайыңды және т. б. Жастары жақын, қалыптасу шарттары мен заттық құрамына сәйкес екі интрузивті фаза бөлінеді, оларда өздерінің желі жыныстары және метасоматоздық түзілімдері байқалады [2, 3].

Бірінші фаза қалба кешені көлемінің шамамен 70% құрайтын тау жыныстарының (қалыпты граниттерден контаминацияланған граниттер мен гранодиориттерге дейін) тұрақсыз құрамымен сипатталады. Орташа алғанда, гранитоидтар әдеттегі граниттерден меланократығының жо-

ғарылауымен, кремний қышқылының төмендеуімен және орташа сілтілігімен ерекшеленеді. Көбінесе орташа-ірі түйірлі порфирлі биотитті граниттермен көрсетілген, құрамында (%): плагиоклаз (№ 18–37) – 35–41, ҚДШ-15-20, кварц – 28–32, биотит 5–10 дейін, акцессориялар – 0,5 бар. Петрохимиялық тұрғыдан олар натрий – калий сериясының қалыпты қатарына жатады ($(Na_2O:K_2O = 0,78)$), төмен плюмазитті ($Ka = 0,69$), орташа негізді ($Z=0,34$ ккал) және өте жоғары глиноземді. Акцессорлық ерекшелігі – гранат-ильменит-апатитті, туынды минералдар – циркон, монацит, сфен, турмалин және т. б.; кенденудің минерал – индикаторлары – апатит, турмалин, касситерит, сподумен [2, 3].

Граниттер геохимиялық **Li, Rb, Cs, Sn, Nb** байытылған, оларда Та мөлшері 1,2-ден 4,8 г/т-ға дейін өзгереді. Сирек элементтердің (**Ta, Nb, Be, Li, Sn**) жоғарылауы тау жынысын түзетін минералдарда – кварцта, дала шпаттарында, әсіресе мусковиттер мен биотиттерде, сондай-ақ акцессорияларда-апатитте, ильменитте, цирконда және басқа минералдарда кездеседі [2, 3]. Жалпы, граниттердің геохимиялық типі – қалайы – тантал (литий мен бериллий).

Қалбаның негізгі сирек металды пегматитті кен орындары (Бакенді, Юбилейное, Белая Гора және т. б.) және гидротермалды кварц-желілі қалайы объектілері (Чудское және т. б.) I фазалық граниттермен кеңістіктік және генетикалық байланыста [4]. Б.А. Дьячковтың және басқалардың мәліметтері бойынша масс-спектрометриялық талдау нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Екінші фаза орташа, біркелкі түйіршікті биотитті және мусковиттенген петрографиялық құрамы тұрақты граниттерден тұрады. Олар натрий-калий жоғары плюмазиттік сериясының қалыпты петрохимиялық қатарына жатады. Бұл калбин кешенінің аса қышқылды дифференциаттары, олар плагиоклаз, калшпат және кварцтың ұқсас мөндерімен (30% шамасында), биотиттің төмен мөлшерімен (5–7% дейін) және айқын соңғымагмалық өзгерістермен (мусковиттену және альбиттену) сипатталады. Акцессорлық ерекшелігі – метасоматозды айырмашылықтарда тан-

талит-колумбит, касситерит, шеелит, флюорит және басқа минералдардың сеппелігімен ильменит-апатитті [2, 3].

Геохимиялық тұрғыдан граниттерде **W, Sn, Be, Li** (2-ден 21 кларкқа дейін) жоғарылайды, олар жынысқұрушы минералдар мен апатит, ильменит, монацитте шоғырланған. Қалыпты және өзгертілген граниттердің танталдануының жоғарылауы да анықталды – 1,2-ден 43 г/т-ге дейін (орташа мәні 4,6 г/т). Граниттердің геохимиялық типі – апограниттердегі танталдың кен шоғырлануы пегматиттерге қарағанда жоғары болатын қалайы-вольфрам-танталды.

II фазалық граниттермен генетикалық тұрғыдан сирек металды-пегматитті (**Ta, Nb, Li, Be, Sn**) кен орындары (Ахметкино, Кварцты және т. б.) байланысты, олар бірінші фазадағы сирек металды пегматиттерінен қарапайым құрамымен (кварц-альбит-мусковит) және кенденудің кішірек масштабымен ерекшеленеді. Жасырын гранит күмбездеріндегі (Карасу типі) **Sn-Ta** апограниті (альбитит – грейзенді) кендену белгілі. Грейзен-кварц-желілі **Sn-W** кендену касситерит, вольфрамит және шеелит шашылымдарының түпкілікті көзі болған ұсақ объектілермен (Қараш, Ленинск және т. б.) ұсынылған [3].

Қалба кешенінің I фазасының гранитоидтарымен байланысты пегматиттердің кенділігі

Қалба кешенінің I фазасының гранитоидтарындағы кенділігі жақсы зерттелген. Гранитоидтар бастапқыда **Li, Cs, Ta, Be, B, F, P, Mn, Ga, Rb, Nb, Sn, Ta** байытылған. Олармен іс жүзінде барлық белгілі өнеркәсіптік сирек металды-пегматитті кен орындары, қалайы мен вольфрамның ұсақ кенбілімдері байланысты [4].

Сирек металды кен орындарының едәуір бөлігі мен кенбілімдері П. Черны (1981) және басқа зерттеушілердің жіктеуі бойынша LCT (литий-цезий-тантал) тобына жататын әртүрлі геохимиялық түрде ерекшеленген пегматиттерімен байланыстырады. Осы жіктемеге сәйкес мұнда пегматиттердің бірнеше геохимиялық типтерімен ерекшеленеді: блокты микроклинді; бериллийлі, бериллий-сподуменді және альбититі [5, 6].

Кесте 1

Қалба-Нарым белдеуінің гранитоидтарындағы сирек элементтердің орташа мөлшері (г/т) [3]

Table 1

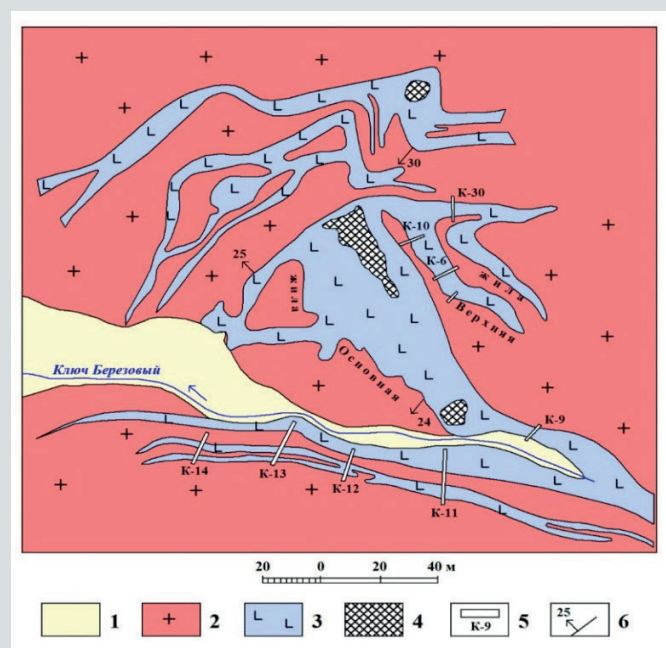
The average content of rare elements (g/t) in granitoids of the Kalba-Narym belt [3]

Таблица 1

Среднее содержание редких элементов (г/т) в гранитоидах Калба-Нарымского пояса [3]

Кешен	Тау жыныстары (сынама саны)	Ta	Nb	Be	Li	Rb	Cs	Sn	W	Mo	P
Қалба, P ₁	Граниттер I фаза (5)	1,2	17,3	2,62	248,52	156,88	23,83	14,62	0,72	0,77	977,34
	Биотитті граниттер II фаза (5)	1,2	13,1	1,24	54,2	162,4	9,4	10,4	1,16	1,17	1336
	Мусковиттелген граниттер II фаза (7)	3,7	12,9	4,2	151,4	204	14,6	14,2	0,7	1,02	932,6
	Лейкограниттер ірі түйіршікті (5)	1	17,6	1,84	20,7	192,8	6,6	14,4	0,46	1,08	364,3

Блокты микроклинді пегматиттердің типіне Төменгі Лайбұлақ (1 сурет) типті кен орындары жатады. Биотиттердің микроклин блоктарының тантал-ниобий формациясымен ұсынылады. Граниттердегі пегматит алаңдары жарықшақты-айырылымды құрылымдармен бақыланады және массивтердің (Төменгі Лайбұлақ, Лобаксай, Көксай және т. б.) эндожапсарлар мен жабынының ойыстарында орналастырылады. Пегматиттер негізінен кварцтан және бағынышты мәнінде альбит (10%-ға дейін) пен мусковиттен (5–10%) тұрады; туынды минералдар – шерл, анартас, колумбит, сирек сілтілі минерал. Олар сирек металды пегматиттерден жоғары калий сілтілігімен ерекшеленеді. Кенденудің негізгі көрсеткіштері блокты микроклин, ірі пластиналы күміс түстес мусковит, анартас және сирек сілтілі минерал болып табылады. Сирек металды пегматитке қарағанда мусковитте *Si*, *Mg*, *Ti*, *Be*, *Nb* көп және *Mn*, *F*, *Sn*, *Li*, *Rb* аз [7].



1 – борпылдақ төрттік шөгінділер; 2 – қалба кешенінің I фазасының орташа түйірлі биотитті граниттер; 3 – блокты кварц-микроклинді пегматиттер; 4 – кварц ядросы; 5 – атыздар және олардың нөмірлері; 6 – желілердің жатыс элементтері

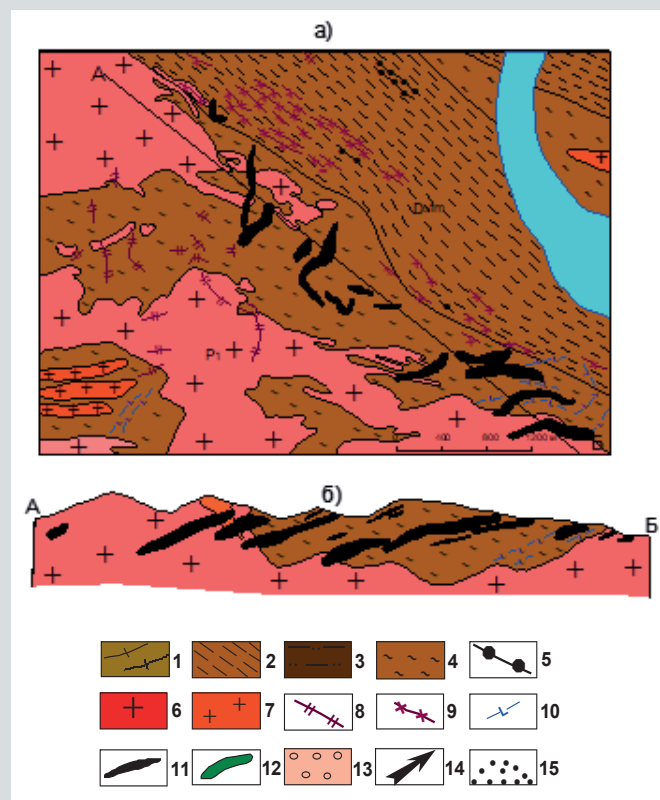
Сурет 1. Төменгі Лайбұлақ кен орнының геологиялық құрылымының сызбасы [7].

Figure 1. Diagram of the geological structure of the Nizhny Laibulak deposit [7].

Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Нижний Лайбулак [7].

Бакенді кен орнының пегматиттері берилл-сподумен типіне жатады. Ол Шығыс Қазақстан облысы Огневка кентінің ауданында орналасқан. Оны Ю.А. Садовский, О.И. Садовская, В.А. Филиппов, И.Г. Аргаматов, Е.П. Пушко және басқа геологтар зерттеді. Кен орны Орталық Қалбаның Ертіс маңындағы гранит массивінің солтүстік эндо-экзожапсарында, Огнев-Бакенді кен түйінінің шегінде орналасқан.

Магматиттер, андалузит және кварц-дала шпаты-слюда тақтатастары – тақыр свитасының метаморфталған түзілімдері мен қалба кешенінің (*P*) I фазасының контаминацияланған граниттерінің апофиздері кен сыйыстырушы орта ретінде ұсынылады (2-сурет) [2, 3].



1 – метаморфогенді жыныстар; 2 – *D*_{3fm} терригенді шөгінділер; 3 – бөлінбеген карбонатты-терригенді шөгінділер, *D*_{3gv}; 4 – мигматиттер; 5 – кунуш кешенінің дайкалары, *C*₃; 6, 7 – Преображенск массивінің граниттері (қалба кешені), 6 – бірінші фаза, 7 – екінші фаза; 8 – қалба кешенінің желілі аплит тәрізді граниттері; 9–12 пегматиттер; 10 – олигоклаз-микроклинді; 11 – сирек металды; 12 – блокты микроклинді

Сурет 2. Бакенді кен орнының геологиялық құрылымының сызбасы (а – кен орнының жоспары; б – геологиялық қима [3]. Т.А. Ойцева орындады.

Figure 2. The scheme of the geological structure of the Bakennoe deposit (a – the plan of the deposit; b – the geological part [3]. Performed by Oitseva T. A.

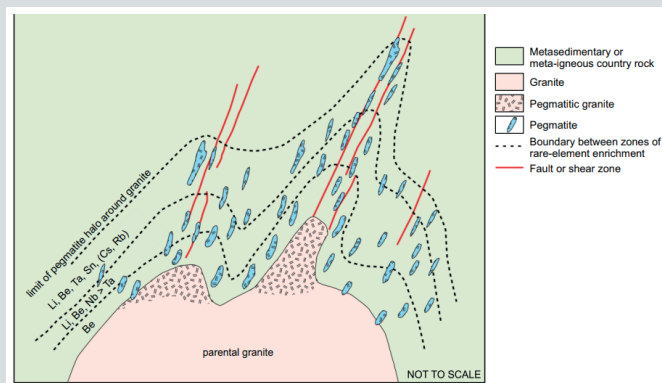
Рис. 2. Схема геологического строения Бакенного месторождения (а – план месторождения; б – геологический разрез [3]. Выполнено Ойцовой Т.А.

Желілер граниттер мен тақтатастарға қатысты баспалдақты жүйесі түрінде көлденең орналасады (2-сурет), олар солтүстік-батысқа қарай 15–20° бұрышпен құлайды. Кен денелерінің пішіні – желі тәрізді, жоспарда линза және таспа тәріздес. Желілердің қалыңдығы 5-тен 15 м-ге дейін өзгереді, сирек 20 м-ге жетеді. Кен денелерінің таралу тереңдігі 350 м-ден асады, құлау бойынша 1000 м-ге дейін

жетеді. Физикалық-химиялық қалыптасу жағдайларына сәйкес пегматиттер салыстырмалы түрде жабық немесе жартылай жабық жүйеде ұшпа (H_2O , CO_2 , F , B , Cl) және сирек элементтермен (Ta , Nb , Be , Sn , Li , Cs) байытылған ерітінді-балқымалардан пайда болған. Қалыптасу температурасы 1000–280 °C аралығында, ал қысым 4000–600 атм шамасында болған (И.Г. Аргамаков, 1977 ж.) [3].

Бакенді кен орнының пегматиттерінің негізгі жыныс құрушы минералдары (%): альбит – 60, кварц – 8, микроклин – 7 және мусковит – 11; туынды – апатит, турмалин, жильбертит, флюорит, кальцит, онкозин. Сирек кездесетіндерге манганотанталит, микролит, амблигонит, лепидолит, поллуцит, тапиолит және басқалары жатады. Негізгі кен минералдары – танталит-колумбит, касситерит, сподумен және берилл [2, 3]. Шығыс Қазақстандағы сирек металдар қоры бойынша ең ірі Бакенді кен орны көптеген жылдар бойы игеріліп келген, бірақ қазір консервацияланған.

Бакенді кен орнында LCT (литий-цезий-тантал) тобына жататын кен орындарына тән классикалық минералогиялық аймақтылық байқалады (3-сурет). Пегматиттердің аймақтық таралуы флюидтердің (Ертіс маңындағы интрузивтік массиві) көздеріне байланысты блоктық кенсіз пегматиттерден бастап біркелкі түйірлі берилл-сподуменді пегматиттерге дейін ауысып отырады.



Сурет 3. Пегматит кен өрістерінің схемалық аймақтылығы (Брэдли, 2017) [8].

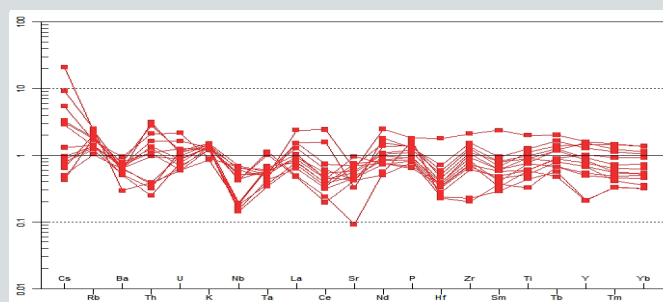
Figure 3. Schematic zonation of pegmatite ore fields (Bradley, 2017) [8].

Рис. 3. Схематическая зональность пегматитовых рудных полей (Брэдли, 2017) [8].

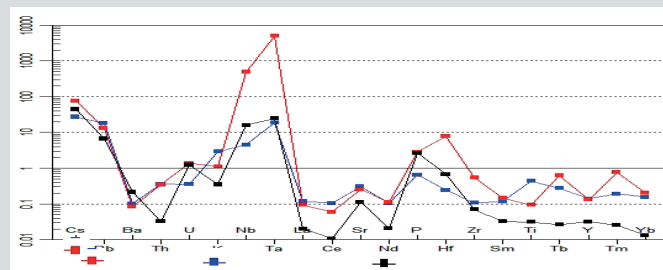
Нәтижелерді талдау

Сирек металды пегматиттердің бірінші фазадағы граниттермен генетикалық байланысы кенді желілердің гранитті массивтің ұшталған апофиздеріне кеңістіктік-құрылымдық бейімделуімен негізделеді [2, 9]. Пегматиттер мен гранитоидтардың химиялық құрамын зерттеу нәтижесінде қалба кешенінің I фазасының гранитоидтары мен пегматиттерінің арасында макро- және микроэлементтерінде айқын генетикалық байланысы байқалды (4-сурет).

Микроэлементтердің құрамын және хондрит бойынша нормаланған Taylor және McLennan (1995) спайдер-диаграммаларын (4-сурет, а, б) талдау негізінде Орталық Қалбадағы сирек металды пегматиттердің қалба гранитоидты кешенінің I фазасының бастапқы граниттерімен байла-



а) I фазаның гранитоидтары



б) Бакенді Юбилейное Асу-Булақ кен алаңындағы кен білімдері

Сурет 4. I фаза гранитоидтардағы (а) және Орталық Қалба пегматиттерінде (б) микроэлементтерінің таралу спайдерграммалары.

Figure 4. Spidergrams of the distribution of trace elements in granitoids of phase I (a) and pegmatites (b) of the Central Kalba.

Рис. 4. Спайдерграммы распределения микроэлементов в гранитоидах I фазы (а) и пегматитах (б) Центральной Калбы.

нысы зерттелді. Граниттер мен кенді сирек металды пегматиттердің спайдер диаграммаларының сәйкес келетін өрістері біріктірілді.

Спайдер диаграммаларын талдау нәтижесінде пегматиттердің кенді алаңдарының қалба кешенінің I фазасының орташа және ірі түйірлі биотитті гранитоидтарымен байланысы расталды.

Граниттерде де, пегматиттерде де Rb , Cs жоғары мөлшерінің жалпы тренді сақталады. Дегенмен, пегматиттерде бұл элементтердің айтарлықтай жоғары мөлшері байқалады, граниттерге қарағанда шамамен 8–10 есе жоғары, бұл кларктық мәндерден 10–100 есе асады. Пегматиттердегі Ba мен Th мөлшері граниттерге қарағанда 8–10 есе төмен, ал K және U аздап төмендеген. Сонымен қатар, Nb мөлшері 8–600 ppm, ал Ta мөлшері 11–6000 ppm аралығында жоғары көрсеткіштерді көрсетеді.

Пегматиттердің микроэлементтік құрамы қалба кешенінің II фазасының бастапқы граниттерімен салыстырғанда $La < 7-15$ есе, $Ce < 5$ есе, $Sr < 1,5$ есе, $Nd < 7-10$ есе айтарлықтай төмендеуін көрсетеді. Екінші жағынан, пегматиттер $P > 3$ есе, $Hf > 2-5$ есе, $Zr > 6$ есе байытылған. Пегматиттердегі сирек элементтердің мөлшері $Sm < 6-10$ есе, $Ti < 2$ есе, $Tb < 10-12$ есе, $Y < 8-12$ есе, $Tm < 10$ есе, $Yb < 2-10$ есе кеміген.

Заттық құрамы мен құрылымдық ерекшеліктеріне қарай пегматиттер айтарлықтай әртүрлілігімен сипатталады

және құрамында 80-нен астам минералдарды қамтиды, олардың ішінде кварц, КДШ, альбит, мусковит, берилл, касситерит, қара және полихромды турмалиндар, сподумен, танталит, колумбит, полунит, лепидолит және басқа да минералдар кездеседі [8].

Пегматиттердің кенді денелері кеңістікте І фаза гранитті массивтерінің шеткі жарықтарында және апофиздерінде орналасқан. Бұл Орталық Қалба пегматиттерінің орналасуынан айқын байқалады. Мысалы, Огнев-Бакенді кенді алаңы Ертіс маңындағы гранитті массивінің солтүстік эндо- және экзожапсарында орналасқан. Мұны Орталық Қалба пегматиттерінің позициясынан анық байқауға болады. Сирек металды пегматиттер гранитті апофиздердің фронталды бөліктерінде шоғырланады және сыйыстырушы шөгінді жыныстардың көптеген ксенолиттері байқалады. Еңіс баспалдақты желілер жүйесі қалыптасты [1]. Юбилейное, Белогорск, Баймурза және Асубұлақ кенді алаңындағы басқа да ұсақ кенбілімдері Тастүбі және Ертіс маңындағы гранитоидты массивтерінің жабының ірі ойыстарында орналасқан. Кен сыйыстырушы жыныстар – ірі түйірлі әлсіз порфирлі биотитті граниттер, гранит-аплиттер және пегматиттер болып табылады [9].

Солтүстік-Батыс Қалбада І фазалық гранитоидтарымен Қайыңды және Пролетар тобына жататын кварц-жілілі типтегі қалайы кен орындары байланысты. Кен орындар Қайыңды және Пролетар гранитті массивтерінің үстіңгі интрузивтік бөліктерінде орналасқан. Нарымда Нарым гранитоидты массивінің апофиздеріндегі кварц желілерде тараған қалайы-вольфрам кенбілімдері белгілі [10].

Қорытындылай келе, пегматиттер мен кварц-желілі кенді минералданған объектілері қалба кешенінің І фазасына жататын гранитоидты массивтерінің эндожапсарларында, экзожапсарларында және апикальды бөліктерінде шоғырланғанын айтуға болады.

Қорытындылар мен ұсыныстар

Сирек металды пегматит кен орындарының қалыптасуының іргелі моделі олардың қалба кешенінің (P_1) граниттерімен генетикалық байланысына және кеңістікте орташа-ірі түйірлі биотитті І фазалы граниттерде және олардың экзожапсарларында денелердің орналасуына негізделеді. Пегматиттердің қалыптасу процестері, шамасы, ашық немесе жартылай жабық магмалық жүйеде, гранитті массивтердің камералық ошақтарынан (кенді заттарды тасымалдайтын жарылымдардың жоғары белсенділігі жағдайында) кенді дистилляттардың (H_2O , F , Cl , Ta , Nb , Be және т. б.) ырғықты-пульсациялық келуі кезінде жүрген. Пегматит түзуші флюидтердің пульсациялық келуі пегматитті желілердің тік кенді бағанада көп ырғақты аймақтылықты, ал пегматитті кенді алаңдарының шектерінде көлденең аймақтылықты қалыптастырды.

Минералдық кешендердің сатылы дамуы графикалық және олигоклаз-микроклиндік кезеңнен микроклин-альбиттік және сподумен құрамды (түсті) кешенді кендерге (Ta , Nb , Be , Li , Cs , Sn , W) дейін байқалады.

Қазіргі заманғы геофизикалық әдістер мен жоғары дәлдікті геохимияны қолдана отырып, қалба кешенінің І фазасының гранитоидтарымен байланысты белгілі пегматитті кен алаңдарын қосымша одан әрі зерттеу және жасырын кен алаңдарын іздеу қажет.

Алғыс

Мақала BR24992854 «Шығыс Қазақстан облысының тау-кен металлургия өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми негізделген технологияларды әзірлеу және енгізу» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру (ҚР ҒжЖБМ) шеңберінде орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қалба-Нарым белдеуінің гранитоидты және кенді түзілімдері: Кенді Алтай. Дьячков Б.А. [және т. б.]. Алматы: Ғылым, 1994. 208 б. (орыс тілінде)
2. Матайбаева И.Е. Шығыс Қазақстанның сирек металдары мен сирек жер элементтерінің кен орындарының қалыптасу заңдылықтары, орналасу шарттары және болжау-іздеу бағалау критерийлері: дис. ... Ph.D дәріс: 6D070600 / ҚарМТУ: Қарағанды, 2017. 147 б. (орыс тілінде)
3. Үлкен Алтайдың кенді гранитоидты белдеулерінің геологиялық жағдайы / Дьячков Б. [және т. б.] // Киев ұлттық университетінің хабаршысы Тарас Шевченко атындағы. 2015. № 1 (68). Б. 55–64 (украин тілінде)
4. Ойцева Т.А., Дьячков Б.А., Владимиров А.Г., Кузьмина О.Н., Агеева О.В. Қалбадағы сирек металды кен орындарының заттық құрамы туралы жаңа мәліметтер // Магмалық формациялардың петрологиясы және ркенділігі: IX Бүкілресейлік конференция материалдары, Томск, 2017. № 9. Б. 343–350 (орыс тілінде)
5. Черный П., Эрцит Т.С. Гранит пегматиттерінің жіктелуін қайта қарау // Канадалық минералог. 2005. Т. 43 (6). Б. 2005–2026 (ағылшын тілінде)
6. Граниттік пегматиттер үшін ұсынылған жаңа минералогиялық классификация жүйесі. I бөлім: Тарих және жаңа классификация қажеттілігі / Мюллер А. [және т. б.] // Канадалық минералог. 2022. Т. 60. Б. 203–227 (ағылшын тілінде)
7. Дьячков Б.А., Ойцева Т.А. Қалбаның сирек металды кендеуі: Өскемен: ШҚМТУ, 2020. Б. 208 (орыс тілінде)
8. Дьюринг П. Микроэлемент пегматиттері: минералдық жүйелерді талдау: есеп 2020/7, Батыс Австралияның геологиялық қызметі, 2020. 6 б. (ағылшын тілінде)
9. Шығыс Қазақстан Қалбин ауданының сирек металл пегматит кен орындары: жасы, құрамы және петрогенетикалық аспектілері / Хромых С.В. [және т. б.] // Пайдалы қазбалар. 2020. Т. 10. Шығ. 11. № 1017. Б. 1–15 (ағылшын тілінде)

10. Шығыс Қазақстандағы сирек металды кен орындарын бағалаудың геологиялық-құрылымдық және минералогиялық-геохимиялық критерийлері / Дьячков Б.А. [және т. б.] // Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ хабаршысы. Өскемен, 2017. № 1 (75). Б. 10–20 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Granitoidnye i rudnye formatsii Kalba-Narymskogo poyasa: Rudnyi Altai, [Granitoid and ore formations of the Kalba-Narym belt: Rudnyi Altai], Dyachkov B.A. [et al.]. Almaty: Science, 1994. 208 p. (in Russian)
2. Mataibaeva I.E. Zakonomernosti formirovaniya, usloviya razmeshcheniya i prognozo-poiskovyie kriterii otsenki perspektiv mestorozhdenii redkikh metallov i redkikh zemel' Vostochnogo Kazakhstana: dis. ... dok. PhD: 6D070600 [Patterns of formation, conditions of placement and forecast and search criteria for assessing the prospects of deposits of rare metals and rare earths in Eastern Kazakhstan: diss. ... Ph.D: 6D070600], KarGTU: Karaganda, 2017. 147 p. (in Russian)
3. Geological position of ore-bearing granitoid belts of the Greater Altai / Dyachkov B. [et al.] // Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. 2015. No. 1 (68). 55–64 pp. (in Ukrainian)
4. Oitseva T.A., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G., Kuzmina O.N., Ageeva O.V. Novye dannye o veshhestvennom sostave redkometall'nyh mestorozhdenij Kalby [New data on the material composition of rare metal deposits of Kalba], Petrologiya i rudonosnost' magmaticheskikh formacij: materialy IX Vserossijskoj konferencii [Proceedings of the IX All-Russian Conference «Petrology and Ore Content of Magmatic Formations»], Tomsk, 2017. No. 9. 343–350 pp. (in Russian)
5. Černy P., Ercit T.S. The classification of granitic pegmatites revisited // The Canadian Mineralogist. 2005. V. 43 (6). 2005–2026 pp. (in English)
6. A proposed new mineralogical classification system for granitic pegmatites. Part I: History and the need for a new classification / Müller A. [et al.] // Canadian Mineralogist. 2022. V. 60. 203–227 pp. (in English)
7. Dyachkov B.A., Oitseva T.A. Redkometall'noe orudnenie Kalby [Rare metal mineralization of Kalby], Ust'-Kamenogorsk: VKGTU, 2020. 208 p. (in Russian)
8. Duuring P. Rare-element pegmatites: a mineral systems analysis: Record 2020/7, Geological Survey of Western Australia, 2020. 6 p. (in English)
9. Rare-metal pegmatite deposits of the Kalba region, Eastern Kazakhstan: Age, composition and petrogenetic implications / Khromykh S.V. [et al.] // Minerals. 2020. V. 10. Issue 11. No. 1017. 1–15 pp. (in English)
10. Geologo-strukturnye i mineralogo-geohimicheskie kriterii ocenki redkometall'nyh mestorozhdenij (Vostochnyj Kazahstan) [Geological-structural and mineralogical-geochemical criteria for assessing rare metal deposits (Eastern Kazakhstan)], Dyachkov B.A. [et al.], Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva [Bulletin of D. Serikbaev], Ust'-Kamenogorsk, 2017. No. 1 (75). 10–20 pp. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гранитоидные и рудные формации Калба-Нарымского пояса: Рудный Алтай / Дьячков Б.А. [и др.]. Алматы: Ғылым. 1994. 208 с. (на русском языке)
2. Матайбаева И.Е. Закономерности формирования, условия размещения и прогнозно-поисковые критерии оценки перспектив месторождений редких металлов и редких земель Восточного Казахстана: дис. ... д-р Ph.D: 6D070600 / КарГТУ: Караганда, 2017. 147 с. (на русском языке)
3. Геологическое положение рудоносных гранитоидных поясов Большого Алтая / Дьячков Б. [и др.] // Вестник Киевского национального университета им. Тараса Шевченко. 2015. № 1 (68). С. 55–64 (на украинском языке)
4. Ойцева Т.А., Дьячков Б.А., Владимиров А.Г., Кузьмина О.Н., Агеева О.В. Новые данные о вещественном составе редкометалльных месторождений Калбы // Материалы IX Всероссийской конференции «Петрология и рудоносность магматических формаций», Томск, 2017. № 9. С. 343–350 (на русском языке)
5. Черный П., Эрцит Т.С. Пересмотр классификации гранитных пегматитов // Канадский минералог. 2005. Т. 43 (6). С. 2005–2026 (на английском языке)
6. Предложенная новая минералогическая система классификации гранитных пегматитов. Часть I: История и необходимость новой классификации / Мюллер А. [и др.] // Канадский минералог. 2022. Т. 60. С. 203–227 (на английском языке)
7. Дьячков Б.А., Ойцева Т.А. Редкометалльное оруденение Калбы: Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2020. С. 208 (на русском языке)
8. Дьюринг П. Редкоэлементные пегматиты: анализ минеральных систем: отчет 2020/7, Геологическая служба Западной Австралии, 2020. 6 с. (на английском языке)
9. Редкометалльные пегматитовые месторождения Калбинского района Восточного Казахстана: возраст, состав и петрогенетические аспекты / Хромых С.В. [и др.] // Минералы. 2020. Т. 10. Вып. 11. № 1017. С. 1–15 (на английском языке)
10. Геолого-структурные и минералого-геохимические критерии оценки редкометалльных месторождений (Восточный Казахстан) / Дьячков Б.А. [и др.] // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2017. № 1 (75). С. 10–20 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Айтбаева С.С., 8D07201 – Геология және пайдалы қазба кен орнын барлау мамандығы бойынша Ph.D докторанты, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), AitbayevaSS@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0285-0773>

Шаяхметова Ж.А., Ph.D докторанты, 8D07201 – Пайдалы қазбалар кен орындарының геологиясы және барлау мамандығы бойынша, геология және тау-кен ісі саласындағы құзыреттілік және технология трансфері орталығының жетекшісі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), szhyldyz_1808@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-8832-378X>

Мизерная М.А., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры (Өскемен қ., Қазақстан), mizernaya58@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8618-7352>

Information about the authors:

Aitbayeva S.S., Ph.D doctoral student in the specialty 8D07201 – Geology and Exploration of Mineral Deposits, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Shayakhmetova Zh.A., Ph.D doctoral student in the specialty 8D07201 – Geology and Exploration of Mineral Deposits, Head of the Competence and Technology Transfer Center in Geology and Mining (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Mizernaya M.A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor at the School of Earth Sciences (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Айтбаева С.С., докторант Ph.D по специальности 8D07201 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых, старший преподаватель Школы наук о Земле, ВКТУ им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Шаяхметова Ж.А., докторант Ph.D по специальности 8D07201 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых, руководитель центра компетенций и трансфера технологий в области геологии и горного дела, ВКТУ им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Мизерная М.А., канд. геол.-минер. наук, ассоциированный профессор школы наук о Земле, ВКТУ им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

ДЕВЯТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

SEYMARTEC MINING

ЧЕЛЯБИНСК
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»

24–26
ИЮНЯ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО
ПРОИЗВОДСТВА

seymartec.ru

+7 499 638-23-29

info@seymartec.ru

CENTRAL ASIA PLAST WORLD

17-АЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ИНДУСТРИИ ПЛАСТМАСС
И ПОЛИМЕРОВ

25-27 ИЮНЯ
2025

КАЗАХСТАН, АЛМАТЫ
МВЦ "АТАКЕНТ"

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

ОБОРУДОВАНИЕ

ПОЛИМЕРЫ

КАУЧУКИ

СЫРЬЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ДОБАВКИ И СУПЕРКОНЦЕНТРАТЫ

ПРЕСС-ФОРМЫ, -ШТАМПЫ

ТЕПЛО И КОНТРОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

КОМПРЕССОРЫ

ЧИЛЛЕРЫ

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

NEW! КОМПОЗИТЫ

NEW! ПОЛИУРИТАНЫ

ОЖИДАЕМАЯ СТАТИСТИКА НА 2025 г.

6000

ПОСЕТИТЕЛЕЙ

200

УЧАСТНИКОВ

13

СТРАН-УЧАСТНИЦ



ПОЛУЧИТЕ БИЛЕТ
НА ВЫСТАВКУ

+7 (707) 611 81 04



info@plastworld.kz



plastworld.kz



www.plastworld.kz

ОРГАНИЗАТОР



IN COOPERATION WITH



POWERED BY



MEMBER OF



ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА



ИНФООПДДЕРЖКА



Код МРНТИ 52.13.25:52.01.77

V.V. Zhurov, *R.A. Mussin, N.M. Zamaliyev, D.R. Akhmaturov

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

COMPUTER MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE NEAR-CONTOUR ROCK MASS

Abstract. The article examines the modeling of the stress-strain state (SSS) of the near-contour rock mass during the preparation and operation of mine workings. The relevance of the topic is associated with the need to improve the safety and efficiency of mining operations at Qarmet JSC enterprises. Calculations of the SSS of the rock mass were performed using metal-arch and anchor supports. The influence of anchor length and diameter on stress distribution was established: longitudinal stresses increase with their growth, while shear stresses change insignificantly. Patterns of stress growth depending on the thickness of roof rocks were identified. The research results, validated by industrial testing, demonstrate opportunities to enhance the stability of workings and develop adaptive support technologies for various mining and geological conditions.

Key words: rock pressure, ventilation, air circulation, stress, anchor support, mining safety, stress modeling, mine workings, near-contour rock mass, geomechanics.

Компьютерлік модельдеу: қаптал массивінің кернеулі-деформацияланған күйі

Аннотация. Мақалада тау-кен қазбаларын дайындау және пайдалану кезінде контур маңы тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін (КДК) модельдеу қарастырылады. Тақырыптың өзектілігі «Qarmet» АҚ-ның ТҚК кәсіпорындарында тау-кен жұмыстарын тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Метал доғалы және анкерлік бекітпелерді пайдалана отырып, массивтің КДК есептеулері жүргізілді. Анкерлердің ұзындығы мен диаметрінің кернеулерге әсері анықталды: ұзындығы мен диаметрі артқан сайын бойлық кернеулер ұлғаяды, ал жанама кернеулер айтарлықтай өзгермейді. Төбе жыныстарының қалыңдығына байланысты кернеулердің өсу заңдылықтары анықталды. Зерттеу нәтижелері өндірістік сынақтармен расталды, қазбалардың тұрақтылығын арттыру және әртүрлі тау-геологиялық жағдайлар үшін бейімделген бекіту технологияларын әзірлеу мүмкіндіктерін көрсетті.

Түйінді сөздер: тау қысымы, желдету, ауа алмасу, кернеу, анкерлік бекітпе, тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігі, кернеулерді модельдеу, тау-кен қазбалары, контур маңы массиві, геомеханика.

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива

Аннотация. В статье исследуется моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) приконтурного массива пород при подготовке и эксплуатации шахтных выработок. Актуальность темы связана с необходимостью повышения безопасности и эффективности горных работ на предприятиях УД АО «Qarmet». Проведены расчеты НДС массива с использованием металлоарочной и анкерной крепи. Установлено влияние длины и диаметра анкеров на характер напряжений: продольные растут с их увеличением, а касательные изменяются незначительно. Выявлены закономерности роста напряжений в зависимости от мощности пород кровли. Результаты исследований подтверждены производственными испытаниями, демонстрируют возможности повышения устойчивости выработок и разработки адаптивных технологий крепления для различных горно-геологических условий.

Ключевые слова: горное давление, вентиляция, проветривание, напряжение, анкерная крепь, безопасность горных работ, моделирование напряжений, горные выработки, приконтурный массив пород, геомеханика.

Introduction

The modern coal mining industry faces numerous challenges related to the efficiency and safety of underground workings. Increasing production volumes and ensuring the stability of operations demand innovative approaches to designing and supporting mine workings. Instabilities in the rock masses surrounding mine workings result in significant costs for repairs, operational delays, and safety risks. Advances in computer modeling enable researchers to analyze the stress-strain state (SSS) of rock masses with high accuracy, leading to better predictions of rock behavior and optimized support designs. This study focuses on developing technologies for stable and safe mine workings, considering the specific mining and geological conditions of JSC «Qarmet» mines.

In the work of Protosenya et al. [1], approaches to modeling the SSS of block rock masses near individual mine workings and in the influence zone of rock beams are analyzed. The authors emphasize the importance of accounting for the structural heterogeneity of the rock mass and its mechanical properties when predicting the stability of excavations.

Gospodarikov and Zatsepin [2] present mathematical modeling of the SSS of rock masses in the development of shallow-angle deposits. Their research demonstrates the application of numerical methods to evaluate the impact of mining operations on the state of the rock mass, allowing optimization of support parameters and improving the safety of underground operations.

The textbook «Mine Support for Underground Workings in Mines and Quarries» [3] explores modern schemes and methods for constructing vertical workings and the equipment

used in these processes. The authors provide techniques for the techno-economic justification of excavation schemes, equipment selection, support types, and optimization of excavation cycles. Special attention is paid to rock mechanics, which is essential for solving tasks related to excavation and support.

Thus, the use of modern geomechanical modeling methods and consideration of the specific conditions of rock mass formation are crucial factors in developing efficient and safe technologies for underground mining operations. This study aims to contribute to the existing scientific literature, confirming the importance of an integrated approach to analyzing the SSS and optimizing support parameters in complex geological conditions.

Research Methods

The study employed advanced numerical simulation software to model the stress-strain state (SSS) of the rock masses surrounding underground mine workings. Key parameters, such as roof thickness, rock layer composition, and stress concentration zones, were included in the models. Both metal arch and rock bolt supports were analyzed under varying conditions. The simulations examined the effects of changes in anchor length (1.8–2.4 m) and diameter (0.02–0.024 m) on stress distribution in the rock masses.

Additionally, field experiments were conducted to validate the simulation results, with real-world measurements taken in operational mine environments. Comparative analyses were performed to assess the correspondence between model predictions and field data. Similar approaches were used by Ivanov [4] in a study on the behavior of rock masses under

dynamic loading conditions, which also integrated numerical modeling with real-world data to improve the reliability of geomechanical assessments in mining operations.

Furthermore, field and simulation-based validation studies by Zaitsev [5] contributed to the accuracy of stress-strain modeling. Zaitsev's research emphasized the importance of aligning theoretical models with empirical data for effective mining support system design. His findings underlined the critical role of simulation techniques in predicting the behavior of rock masses and optimizing mining support structures.

This methodology enables the detailed analysis of stress distribution and support system efficiency, ensuring safer mining operations and better resource management.

Results and Discussion

The research revealed the following insights into the behavior of mine workings: Longitudinal stresses increase with longer and thicker anchors, reflecting improved stability in resisting applied forces. However, excessive anchor dimensions may lead to diminishing returns in efficiency. This relationship has been previously discussed in the work of Kaiser and Tanant [6], who noted that while increasing anchor size improves stress resistance, there are limits to the effectiveness of larger anchors under certain conditions.

Shear stresses showed limited sensitivity to anchor length but slightly decreased with increasing anchor diameter, suggesting an indirect effect of anchor geometry on stress redistribution. This finding is supported by Zhang [7], who examined the role of anchor geometry in redistributing shear stresses in underground mine workings.

Vertical stresses exhibit moderate growth depending on the thickness of roof strata. Roof thickness directly influences load distribution and stress concentration in supporting structures. Zhang et al. [8] also observed that roof thickness significantly impacts the overall stress distribution in mine workings, highlighting its critical role in support design.

The analysis also revealed that metal arch supports are more resistant to shear stresses, while rock bolt supports are better at managing longitudinal stresses. This differentiation allows for tailored support strategies in different geological settings. This approach has been validated by Lee et al. [9], who demonstrated that different support systems perform better under specific types of stresses in various geological environments.

Field tests confirmed the validity of simulation models, with observed stress distributions closely matching predictions. The field validation of these models supports the findings of Zhang et al. [6], who successfully applied similar simulation techniques to predict stress behavior and optimize support systems in underground mines.

Theoretical Foundations of the Issue

The stability of mine workings is a multifaceted problem involving geological, mechanical, and technological factors. The stress-strain state of the rock masses surrounding mine workings is influenced by mining depth, rock properties, and support configurations. The theory of stress-strain states provides a foundation for understanding and predicting zones of plastic deformation and fracturing in rock masses. Applying this theoretical framework allows for the design of support

systems tailored to specific geological conditions. Advances in computational modeling have further enhanced the ability to simulate complex interactions within rock masses, leading to more effective solutions for mine stability challenges.

At the JSC «Qarmet» mines, where multiple production sections are in operation simultaneously, the accelerated and timely preparation of longwall faces is essential for increasing production volumes. Delays in preparation can lead to significant costs for repairs, both before and after commissioning [10].

Currently, the types of metal arch supports used are relatively expensive and lack technological efficiency, which negatively impacts development speed and maintenance conditions. This is primarily due to insufficient understanding of the behavior of the surrounding rock mass, as well as the imperfections in the design of the applied supports and installation technologies [11].

Maintaining and increasing the volume of underground coal mining is only feasible with the availability of highly efficient technologies for preparatory and maintenance operations, which ensure the growth of mine preparation volumes [12].

The objective of this research is to develop a technology for intensive and safe mining operations, based on identified patterns of behavior in the adjacent rock masses. This includes optimizing the parameters of technological schemes for preparatory operations to improve the efficiency of underground mining production. The core idea of the study lies in utilizing the induced stress-strain state of the rock mass to design an effective support technology for the contour-adjacent rock mass.

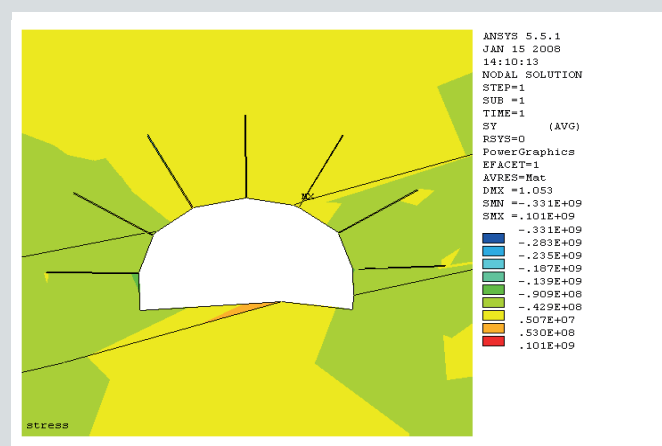


Figure 1. Manifestations of Rock Pressure in the Ventilation Drift Under a Reversible Ventilation Scheme for Longwall Mining (Cross-Section Along the Conveyor Drift).

Сурет 1. Тау жүктемесінің көріністері желдету үңгірінде, қайтармалы желдету схемасы бойынша қазба жұмыстарын жүргізу кезінде (конвейерлік қазбаның кесіндісі бойынша).

Рис. 1. Проявления горного давления в вентиляционной выработке при технологии очистных работ с возвратноточной схемой проветривания (разрез вкрест простирания по конвейерной выработке).

Horizontal displacements (U_x) on all sides are 0,35 m. Thus, the anchor support, even before the approach of the face, cannot withstand the acting pressure and requires reinforcement installation.

The conveyor excavation (see Figure 1), reinforced with anchor support, maintains stability before the face approaches, with tensile stresses of $b_y = 5$ MPa in the roof (soil) and compressive stresses $b_y = 50$ MPa in the sides of the excavation.

The conducted studies on determining the influence of roof rock control (the ratio of the thickness of the immediate roof rock to the extracted seam thickness) for metal-arch and anchor supports showed that, in general, as the roof rock thickness increases, all stresses exhibit a low-intensity growth dynamic.

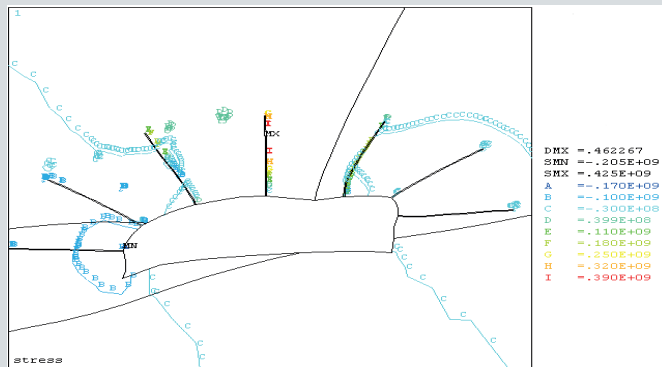


Figure 2. Manifestations of rock pressure in the ventilation drift (σ_y).

Сурет 2. Желдеткіш шығымы бойынша тау қысымының көрінісі (σ_y).

Рис. 2. Проявления горного давления на вентиляционной выработке (σ_y).

For any of the considered types of mine support, with the improvement of the controllability of the surrounding rocks, the stresses in the mass increase in a linear dependence. Vertical stresses (σ_y) increase insignificantly for both arch and anchor supports and are similar in magnitude.

Longitudinal stresses (σ_x) for the arch support are half as much compared to the anchor support, while shear stresses are four times greater. For metal-arched support, higher values are characteristic for shear stresses ($\tau_{xy} = 120\text{--}140$ Pa), while for the anchor support, they are more significant for longitudinal stresses ($\sigma_x = 60\text{--}70$ Pa) with approximately the same magnitude for their respective accompanying stresses in the range of 30–40 Pa, and minimal normal stresses (3–10 Pa) – as shown in Figure 2.

The stress-deformed state of the surrounding rock mass around the excavation was modeled with variations in the length and diameter of the anchor support. The effect of anchor length on the change in stresses in the rock mass was studied. The anchor length (ranging from 1.8 to 2.4 meters) had little effect on shear stresses, while vertical and longitudinal stresses increased slightly with the length of the anchor.

With a change in the diameter of the anchor (ranging from 0.02 to 0.024 meters), vertical and longitudinal stresses increased, while shear stresses decreased, following a nearly linear dependence. It was found that, in both cases, with an in-

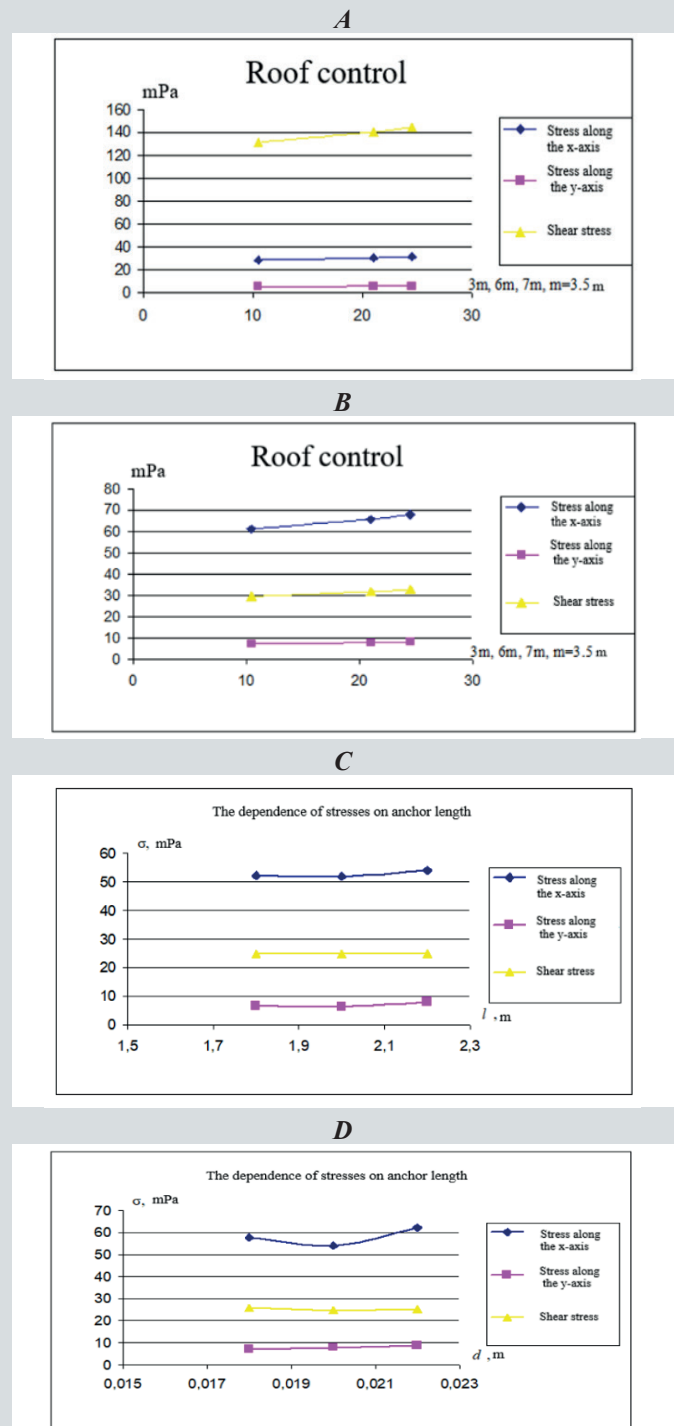


Figure 3. Influence of roof rock control on the stress magnitude around the contour of the excavation supported by metal-arch (A) and anchor (B) supports with changes in anchor length (C) and diameter (D) of the rod – anchor.

Сурет 3. Қабаттың жабынын басқарудың әсері, металл-қажетті (А) және анкерші (В) қаптамалармен бекітілген, ұзындығы (С) және таяқша диаметрі (D) өзгерген кезде пайда болатын кернеудің шамасы.

Рис. 3. Влияние управляемости пород кровли на величину напряжений, возникающих вокруг контура выработки, закрепленной металлоарочной (А) и анкерной (В) крепью с изменением ее длины (С) и диаметра (D) стержня – анкера.

crease in the length of the anchor (from 1.8 to 2.2 meters) and its diameter (from 0.02 to 0.024 meters), longitudinal stresses (55–60 Pa) were more significant, with a tendency for them to increase. Shear stresses remained almost unchanged (25 Pa) in the considered range, while normal stresses increased slightly in a linear dependence (from 5 to 10 Pa).

The conducted studies allowed determining the influence of technological factors on the effectiveness of applying metal-arch and anchor supports for mining workings. The identified patterns of change in the stress-deformed state of coal rock masses (displacements, stresses, and fracture zones) depending on the main mining-geological and mining-technical factors will allow for setting support parameters in specific operating conditions to improve the stability of preparatory mine workings. This will enable the development of new and the improvement of existing technologies for the effective and safe implementation of mine workings on gently sloping and inclined coal seams, adaptable to changing mining-geological and mining-technical conditions of operation.

A comparative evaluation of the conducted studies with tests in industrial conditions showed satisfactory convergence of the parameters of the stressed-deformed state of the rock mass.

Conclusion

The conducted research emphasizes the critical importance of understanding and managing the stress-strain state (SSS) of rock masses for the safe and efficient operation of underground coal mines. By integrating advanced numerical mod-

eling and field validation, this study identifies key patterns in the behavior of rock masses and their interaction with support systems. The findings reveal that both the length and diameter of anchor supports significantly influence longitudinal and vertical stresses, while having limited effects on shear stresses. Furthermore, metal-arch supports exhibit higher resistance to shear stresses, whereas anchor supports are more effective at handling longitudinal stresses.

The research highlights the necessity of tailoring support parameters to specific geological and technical conditions to optimize the stability of mine workings. This approach allows for the development of adaptive technologies that ensure efficient excavation processes, even in complex mining environments.

Ultimately, the study contributes to the ongoing advancement of underground mining operations by offering insights into the design and implementation of effective support systems. The results will aid in improving the safety and productivity of mining processes, supporting the growing demand for coal production while mitigating operational risks.

Acknowledgments

This research was funded under the program-targeted financing of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the scientific and scientific-technical program IRN BR24992803 «Development of a rational mining technology based on the impact on the anthropogenic state of the enclosing rock mass».

REFERENCES

1. Protosenya A.G., Belyakov N.A., Buslova M.A. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya blochnykh massivov porod mestorozhdenii rud s primeneniem metodov obrusheniya [Modeling the Stress-Strain State of Block Rock Masses of Ore Deposits Using Caving Mining Methods], Zhurnal gornogo instituta [Journal of Mining Institute]. 2023. V. 262. 187–195 pp. (in Russian)
2. Gospodarikov A.P., Zatsepin M.A. Matematicheskoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massivov porod pri otrabotke pologikh mestorozhdenii [Mathematical Modeling of the Stress-Strain State of Rock Masses during Shallow-Angle Deposit Development], Zhurnal gornogo instituta [Journal of Mining Institute]. 2010. V. 187. 88–92 pp. (in Russian)
3. Kreplenie gornykh vyrabotok na shakhtakh i kar'erakh [Mine Support for Underground Workings in Mines and Quarries]: A Textbook, edited by V.A. Kuznetsov: Perm: Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2016. 120 p. (in Russian)
4. Ivanov O.S. Primenenie geomekhaniki v gornykh rabotakh [Application of Geomechanics in Mining Operations], Novosibirsk: Sibirskoe otделение Rossiiskoi akademii nauk, 2019. 210–250 pp. (in Russian)
5. Zaitsev N.P. Tekhnologii krepleniya gornykh vyrabotok i geomekhanika [Technologies of Mining Fastening and Geomechanics], Yekaterinburg: Ural'skii universitet, 2017. 170–190 pp. (in Russian)
6. Kaiser P.K., Tannant D.D. Geomechanics for Underground Construction // Engineering Geomechanics: Toronto: 2017. 220–260 pp. (in English)
7. Zhang M. Geomechanics of Mining Operations: Beijing: Scientific and Technical Publishing House, 2017. 101–140 pp. (in Chinese)
8. Zhang L., Li H., Chen H. Rock Mechanics and Geotechnical Engineering: Amsterdam: Elsevier, 2019. 200–240 pp. (in English)
9. Lee H., Lee Y., Kim S. Evaluation of Support System Effectiveness in Underground Mining: Numerical and Field Testing Approach // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2018. V. 10. 377–386 pp. (in English)

10. Tikhomirov A.N. *Geomekhanika porod [Geomechanics of Rocks]*, Moscow: Geologiya i geomekhanika, 2015. 120–150 pp. (in Russian)
11. Petrov V.V., Morozov I.G. *Osnovy geomekhaniki [Fundamentals of Geomechanics]*, St. Petersburg: Gornaya Kniga, 2016. 200–230 pp. (in Russian)
12. Ivanov O.S. *Primenenie geomekhaniki v gornykh rabotakh [Application of Geomechanics in Mining Operations]*, Novosibirsk: Sibirskoe otделение Rossiiskoi akademii nauk, 2019. 210–250 pp. (in Russian)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Протосеня А.Г., Беляков Н.А., Буслова М.А. Рудалы кен орындарының блоктық тау жыныстары массивтерінің деформацияланған кернеу күйін құлау әдістерін қолдана отырып модельдеу // Тау-кен институтының журналы. 2023. Т. 262. Б. 187–195 (орыс тілінде)
2. Господариков А.П., Зацепин М.А. Жазық кен орындарын өңдеу кезінде тау жыныстары массивтерінің деформацияланған кернеу күйін математикалық модельдеу // Тау-кен институтының журналы. 2010. Т. 187. Б. 88–92 (орыс тілінде)
3. Шахталар мен карьерлердегі тау-кен қазбаларын бекіту: оқу құралы, редакциясын басқарған В.А. Кузнецов: Пермь: Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университеті, 2016. 120 б. (орыс тілінде)
4. Иванов О.С. Тау-кен жұмыстарында геомеханиканы қолдану: Новосибирск: Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, 2019. Б. 210–250 (орыс тілінде)
5. Зайцев Н.П. Тау-кен қазбаларын бекіту технологиялары және геомеханика: Екатеринбург: Урал университеті, 2017. Б. 170–190 (орыс тілінде)
6. Кайзер П.К., Таннант Д.Д. Жерасты құрылысы үшін геомеханика // Инженерлік геомеханика: Торонто: 2017. Б. 220–260 (орыс тілінде)
7. Чжан М. Тау-кен жұмыстарының геомеханикасы: Пекин: Ғылыми-техникалық баспа, 2017. Б. 101–140 (қытай тілінде)
8. Чжан Л., Ли Х., Чэнь Х. Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия: Амстердам: Эльзевир, 2019. Б. 200–240 (ағылшын тілінде)
9. Ли Х., Ли У., Ким С. Жерасты тау-кен жұмыстарында бекіту жүйелерінің тиімділігін бағалау: сандық және далалық сынақ әдісі // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2018. Т. 10. Б. 377–386 (ағылшын тілінде)
10. Тихомиров А.Н. Тау жыныстарының геомеханикасы: М.: «Геология және геомеханика» баспасы, 2015. Б. 120–150 (орыс тілінде)
11. Петров В.В., Морозов И.Г. Геомеханика негіздері: СПб: Тау-кен кітабы, 2016. Б. 200–230 (орыс тілінде)
12. Иванов О.С. Тау-кен жұмыстарында геомеханиканы қолдану: Новосибирск: Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, 2019. Б. 210–250 (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Протосеня А.Г., Беляков Н.А., Буслова М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния блочных массивов пород месторождений руд с применением методов обрушения // Журнал горного института. 2023. Т. 262. С. 187–195 (на русском языке)
2. Господариков А.П., Зацепин М.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массивов пород при отработке пологих месторождений // Журнал горного института. 2010. Т. 187. С. 88–92 (на русском языке)
3. Крепление горных выработок на шахтах и карьерах: учебник под ред. В.А. Кузнецова: Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2016. 120 с. (на русском языке)
4. Иванов О.С. Применение геомеханики в горных работах: Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии наук, 2019. С. 210–250 (на русском языке)
5. Зайцев Н.П. Технологии крепления горных выработок и геомеханика: Екатеринбург: Уральский университет, 2017. С. 170–190 (на русском языке)
6. Кайзер П.К., Таннант Д.Д. Геомеханика для подземного строительства // Инженерная геомеханика: Торонто: 2017. С. 220–260 (на английском языке)
7. Чжан М. Геомеханика горных работ: Пекин: Научно-техническое издательство, 2017. С. 101–140 (на китайском языке)
8. Чжан Л., Ли Х., Чэнь Х. Механика горных пород и геотехническая инженерия: Амстердам: Эльзевир, 2019. С. 200–240 (на английском языке)

9. Ли Х., Ли У., Ким С. Оценка эффективности систем крепления в подземных горных работах: подход на основе численных и полевых испытаний // Журнал механики горных пород и геотехнической инженерии. 2018. Т. 10. С. 377–386 (на английском языке)
10. Тихомиров А.Н. Геомеханика пород: М.: Геология и геомеханика, 2015. С. 120–150 (на русском языке)
11. Петров В.В., Морозов И.Г. Основы геомеханики: СПб: Горная книга, 2016. с. 200–230 (на русском языке)
12. Иванов О.С. Применение геомеханики в горных работах: Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии наук, 2019. С. 210–250 (на русском языке)

Information about the authors:

Zhurlov V.V., Candidate of Engineering Sciences, Acting Associate Professor of the Higher Mathematics Department, Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), zhurvitv@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4413-8584>

Musin R.A., Ph.D., Acting Associate Professor, Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), r.a.mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

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

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

Авторлар туралы мәліметтер:

Жұров В.В., т.ғ.к., Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университетінің жоғары математика кафедрасының міндетін атқарушы доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мусин Р.А., Ph.D докторы, Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университетінің міндетін атқарушы доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Замалиев Н.М., Ph.D докторы, міндетін атқарушы доцент, Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматнуров Д.Р., Ph.D докторы, зертхана меңгерушісі, Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Информация об авторах:

Жұров В.В., к.т.н., исполняющий обязанности доцента кафедры высшей математики Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Мусин Р.А., Ph.D, исполняющий обязанности доцента Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Замалиев Н.М., доктор Ph.D, исполняющий обязанности доцента, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Ахматнуров Д.Р., доктор Ph.D, руководитель лаборатории, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 36.23.31

*М.Б. Игемберлина¹, Г.Е. Жунусова¹, А.С. Туякбай², А.Б. Жаксыбаева¹

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),

²Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова (г. Караганда, Казахстан)

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Аннотация. В статье приведены методика создания цифровой модели земной поверхности при разработке месторождений с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Рассмотрены современные технологии аэрофотосъемки, обработки данных и построения высокоточных цифровых моделей рельефа. Описаны этапы производства аэрофотосъемки, обработки изображений, позволяющие минимизировать погрешности и повысить точность построения моделей. Предложена методика повышения точности моделей за счет оптимизации параметров полета БПЛА и калибровки сенсоров. Полученные результаты могут быть применены для оптимизации горных работ и проведения геодезического мониторинга за состоянием техногенных объектов и осуществления экологического контроля.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, аэрофотосъемка, квадрокоптер, опознаки, цифровая модель земной поверхности, ортофотоплан.

Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кезінде ұшықшысыз ұшу аппараттарын қолдану

Аннотация. Мақалада пилотсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) пайдалана отырып, кен орындарын игеру кезінде жер бетінің сандық моделін құру әдістемесі келтірілген. Аэрофототүсірілімнің, деректерді өңдеудің және жоғары дәлдіктегі сандық жер бедерінің модельдерін құрудың заманауи технологиялары қарастырылған. Аэрофототүсірілім, кескінді өңдеу өндірісінің қадамдары сипатталған, бұл қателіктерді азайтуға және модель құру дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұшықшысыз ұшу параметрлерін оптимизациялау және сенсорларды калибрлеу арқылы модельдердің дәлдігін арттыру әдісі ұсынылған. Алынған нәтижелер тау-кен жұмыстарын оптимизациялау және техногендік объектілердің жай-күйіне геодезиялық мониторинг жүргізу және экологиялық бақылауды жүзеге асыру үшін қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: ұшықшысыз ұшу аппараттары, аэрофототүсірілім, квадрокоптер, белгілер, жер бетінің сандық моделі, ортофотоплан.

The use of unmanned aerial vehicles in the development of mineral deposits

Abstract. The article presents a methodology for creating a digital model of the earth's surface in the development of deposits using unmanned aerial vehicles (UAVs). Modern technologies of aerial photography, data processing and construction of high-precision digital terrain models are considered. The stages of aerial photography and image processing are described, allowing minimizing errors and improving the accuracy of model construction. A technique is proposed to improve the accuracy of models by optimizing the flight parameters of UAVs and calibrating sensors. The results obtained can be applied to optimize mining operations and geodetic monitoring of the state of man-made facilities and environmental control.

Key words: unmanned aerial vehicles, aerial photography, quadcopter, identification signs, digital model of the Earth's surface, orthophotoplane.

Введение

В последние годы современные технологии широко применяются в горнодобывающей отрасли различных стран. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются одним из перспективных инструментов для создания цифровых моделей земной поверхности как подработанных территорий, так и техногенных объектов, которые позволяют значительно снизить затраты на геодезические работы, а также повысить точность измерений и оперативность сбора данных. БПЛА на данный момент считаются одним из быстро развивающихся сегментов мирового рынка, это напрямую связано с широким спектром областей, где они нашли применение. Среди них следует отметить такие области как геодезия, картография и маркшейдерия. Процесс создания цифровой модели земной поверхности состоит из нескольких взаимосвязанных этапов, начиная от планирования аэрофотосъемки, сбора данных, обработки изображений и заканчивая анализом готовой модели. Технические характеристики БПЛА позволяют производить оперативный мониторинг различных техногенных объектов, расположенных на значительном расстоянии, и имеющих различные параметры по площади. Данная методика позволяет своевременно выявить опасные зоны, производить долгосрочное прогнозирование и принять своевременные меры для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Методы

В современных условиях развития горнодобывающей отрасли для проведения мониторинга за деформация-

ми земной поверхности и техногенных объектов наряду с традиционными геодезическими методами применяются различные современные технологии, в том числе такие, как GNSS, лазерное сканирование и аэрофотосъемка с применением беспилотного летательного аппарата.

Разработка методики создания цифровой модели поверхности земли при разработке месторождений с применением БПЛА по каждому объекту исследования разрабатывается индивидуально с учетом особенностей. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить теоретические основы построения цифровой модели земной поверхности;
- произвести анализ технологий БПЛА и методов их применения;
- определить и оценить этапы построения цифровой модели земной поверхности;
- показать практическое применение цифровой модели при разработке месторождений путем анализа результатов.

Данные, полученные в результате аэрофотосъемки с помощью БПЛА, могут быть использованы в качестве основы для создания двухмерных и трехмерных цифровых моделей земной поверхности, а также для составления топографических планов местности. Различают четыре уровня аэрофотосъемки: глобальный, региональный, локальный и точечный. Следует отметить, что для решения инженерно-геодезических задач маркшейдерии и геодезии широкое применение нашли локальный и точечный уровни [1, 2].

Применение БПЛА является наиболее доступным в тех случаях, когда разработка месторождения полезных ископаемых осуществляется открытым способом. Проведение мониторинга за деформациями земной поверхности, состоянием карьеров, отвалов, складов полезных ископаемых, хвостохранилищ и прилегающих к ним территорий выполняется сравнительно несложно.

При разработке месторождений полезных ископаемых применение БПЛА в настоящее время позволяет решать широкий спектр прикладных задач в геодезии и маркшейдерии, таких как 3D-моделирование карьера и земной поверхности; мониторинг состояния породных отвалов и прилегающих к ним зон; создание геодезической основы для месторождения; обследование подработанных территорий; оперативный контроль над соответствием плана горных работ; подсчет объемов работ по вскрыше и добыче; создание основы для плана рекультивации по завершении проекта.

Процесс создания цифровой модели земной поверхности при разработке месторождений можно разделить на несколько важных ключевых этапов: подготовка и планирование полета; сбор данных; геопривязка и анализ снимков. Различные этапы создания цифровой модели требуют разного уровня технической подготовки и применения специализированного оборудования.

Основные преимущества использования БПЛА:

- высокая точность и детализация данных;
- оперативность сбора данных;
- доступ к труднодоступным и опасным зонам;
- экономическая эффективность;
- регулярность и систематичность наблюдений [3].

Данные, полученные с помощью БПЛА, позволяют легко интегрировать с различными геоинформационными системами и технологиями, такими как GNSS, что в свою очередь расширяет возможности их анализа и применения. В рамках проведения маркшейдерско-геодезических работ выполнено закрепление опознаков с применением базовой станции Stonex S850 (рис. 1).



Рис. 1. Базовая станция Stonex S980A GNSS.
Сурет 1. Stonex S980A GNSS базалық станциясы.
Figure 1. Stonex S980A GNSS the base station.

Основные характеристики базовой станции Stonex S980A GNSS:

- прочный корпус;
- поддержка всех спутниковых систем;
- поддержка передачи данных 4G LTE и Bluetooth/WLAN-UHF передача данных со встроенным 5 Вт радиомодулем;
- разъем для UHF антенны в верхней части;
- простая настройка через Web UI и удаленный сервер;
- сенсорный дисплей;
- поддержка вывода IPPS;
- поддержка внешней GNSS антенны;
- поддержка нового датчика для измерения наклона;
- интеллектуальное соединение;
- защита IP68.

Закрепление осуществлялось с целью обеспечения привязки снимков, привязки топографических элементов, а также для последующей постобработки и увязки координатной информации. Все опознаки устанавливались в устойчивых, долговечных точках, обеспечивающих стабильность их положения и удобство. Перед началом измерений приемник Stonex S980A GNSS был инициализирован, выполнена проверка подключения к спутниковым системам. Опознаки размещались в хорошо обозреваемых местах, удаленных от источников радиопомех и объектов, создающих мультипути. Координаты точек фиксировались в режиме RTK с использованием поправок, передаваемых от установленной базовой станции по радиоканалу [4].

Серия полетов БПЛА осуществляется по заранее составленным маршрутам. При создании проекта полета высота и траектория полета выбираются в зависимости от требуемой точности модели и характерных особенностей карьера (глубины, площадных размеров) и рельефа прилегающей территории.

В рамках геодезических и картографических работ была выполнена съемка карьера с использованием квадрокоптера DJI Air 2S (рис. 2). Квадрокоптер DJI Air 2S оснащен системой инфракрасных датчиков, а также системами заднего, верхнего и нижнего обзора, что позволяет ему зависать в воздухе, летать как в помещении, так и в открытом пространстве и автоматически возвращаться в домашнюю точку [5].



Рис. 2. Квадрокоптер DJI Air 2S.
Сурет 2. DJI Air 2S квадрокоптері.
Figure 2. DJI Air 2S quadcopter.

DJI Air 2S оснащен камерой с 1-дюймовой матрицей CMOS, которая снимает видео в разрешении 5.4K со ско-

ростью 30 кадров/с, 4K со скоростью 60 кадров/с и 1080p со скоростью 20 кадров/с и 20-мегапиксельные фото. Квадрокоптер также поддерживает такие режимы съемки, как SmartPhoto, замедленная съемка, Master Shots, быстрая съемка, гиперлапс и панорама. Диафрагма камеры составляет f/2,8, она позволяет снимать на расстоянии от 0,6 м до бесконечности. Основные характеристики квадрокоптера DJI Air 2S приведены в таблице 1.

Таблица 1
Основные характеристики квадрокоптера DJI Air 2S
Кесте 1
DJI A2 квадрокоптерінің негізгі сипаттамалары
Table 1
The main characteristics of the DJI A2 quadcopter

Характеристики	Показатели
Тип	квадрокоптер (4 винта)
Максимальная высота полета	5000.0 м
Максимальная скорость полета	19.0 м/с
Встроенные датчики	GPS, ГЛОНАСС, гироскоп, инфракрасный датчик
Тип управления	радиоканал
Автопилот	да
Следование за оператором	да
Возвращение в точку взлета	да
Дальность трансляции видео или фото	8000 м
Поддержка мобильных ОС	iOS, Android
Камера	встроена в корпус
Разрешение матрицы	20.0 Мпикс
Угол обзора камеры	88.0 град.
Разрешение фотосъемки	3648 x 5472 пикс
Поддержка карт памяти	да
Аккумулятор	3500 mAh
Максимальное время полета	31.0 мин
Диапазон рабочих температур	от 0° до 40°C
Режимы полета	Point of Interest, ActiveTrack

Квадрокоптер DJI Air 2S для съемки запускается с заранее рассчитанной высоты полета, которая варьировалась в зависимости от размера карьера и задач съемки (обычно от 100 до 150 метров). Все снимки фиксировались с перекрытием 80% в обеих осях для дальнейшего создания ортофотоплана. В процессе съемки был установлен контроль за уровнем батареи квадрокоптера и стабильно обеспечивалась связь с пультом управления через систему OcuSync 3.0 для получения видео в реальном времени и мониторинга качества снимков [6].

После завершения съемки все данные были загружены в систему обработки для создания 3D модели карьера, ор-

тофотоплана и контурных карт. Обработанные изображения и модели позволяют не только оценить текущее состояние карьера, но и планировать дальнейшие разработки и изменения, такие как объем горных выработок, анализ эрозии и другие геодезические работы.

Результаты

Цифровая модель карьера, созданная на основе данных, собранных с БПЛА, представляет собой детализированное облако точек, которое формирует точную виртуальную копию исследуемой территории. В случае недоступности связи использовался режим статической съемки с последующей постобработкой. Каждая точка сопровождалась фотофиксацией, замерами высоты антенны, а также описанием ее положения относительно устойчивых ориентиров. Все координаты сохранены во внутренней памяти прибора и продублированы в поле на контроллере. Точность определения координат по завершению измерений соответствовала требованиям для данного вида работ (в среднем $\pm 0.01-0.02$ м в плане и $\pm 0.02-0.03$ м по высоте). DJI Air 2S может работать в трех режимах полета, в четвертый режим дрон переключается только при определенных ситуациях. Режимы полета активируются переключателем режимов полета на пульте управления [7, 8].

Следующим этапом является обработка данных, включающая совмещение снимков, их коррекцию и создание трехмерной модели. Программное обеспечение Agisoft Metashape Professional позволяет реализовать современные технологии создания трехмерных моделей высокого качества на основе цифровых снимков, полученных в результате аэрофотосъемки, лазерного сканирования или спутниковых съемок. По завершению полевых работ результаты съемки экспортируются в форматы, совместимые с программным обеспечением Agisoft Metashape Professional для последующей обработки. Каждая точка содержит информацию о координатах и высоте, что позволяет проводить анализ рельефа, рассчитывать объемы горных работ и прогнозировать возможные изменения поверхности.

Первый этап обработки называется выравниванием и представляет собой блочную фототриангуляцию методом независимых связей. На этом этапе Agisoft Metashape Professional находит общие точки снимков и по ним определяет все параметры камер: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т. п.). Результатами являются облако связующих точек в 3D пространстве модели и данные о положении и ориентации камер.

На втором этапе Agisoft Metashape Professional выполняет построение поверхности: полигональной 3D модели или цифровой модели местности (ЦММ). ЦММ может быть текстурирована для фотореалистичного отображения объекта съемки, а в последствии экспортирована в различных форматах, совместимых с приложениями CAD и средами для трехмерного моделирования. Цифровая модель Кузнецкого угольного разреза приведена на рис. 3.

На третьем этапе в Agisoft Metashape Professional выполнено построение ортофотоплана Кузнецкого угольного разреза (рис. 4), который может быть в дальнейшем соот-

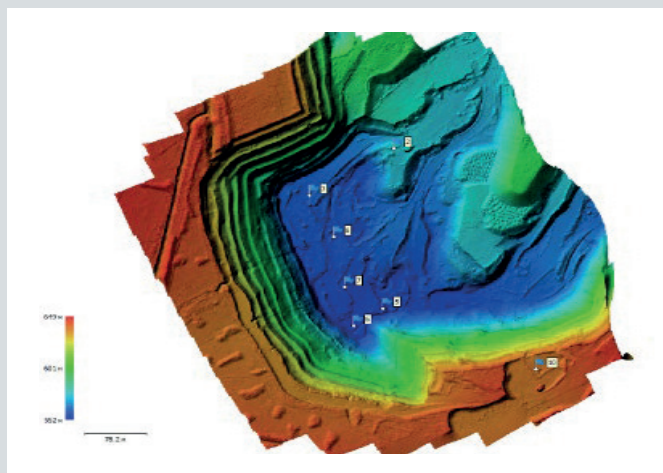


Рис. 3. Цифровая модель Кузнецкого угольного разреза.

Сурет 3. Кузнецкий көмір ашық кенішінің сандық моделі.

Figure 3. Digital model of the Kuznetsk coal mine.

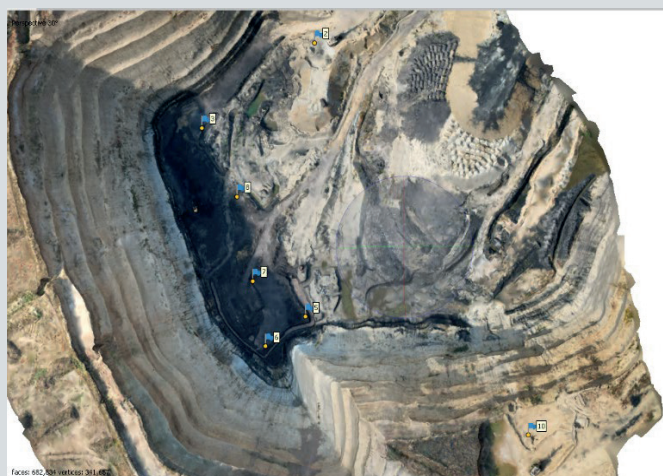


Рис. 4. Ортофотоплан Кузнецкого угольного разреза.

Сурет 4. Кузнецкий көмір ашық кенішінің ортофотопланы.

Figure 4. Orthophotoplane of the Kuznetsk coal mine.

ветствующим образом географически привязан и использоваться в качестве подложки для различных карт. Также ортофотоплан может быть экспортирован для последующего анализа и векторизации исследуемой территории. При создании ортофотоплана исходные снимки проецируются на поверхность, указанную пользователем (ЦММ, полигональная модель), в соответствии с рассчитанными элементами внутреннего и внешнего ориентирования камеры.

Созданные модели открытых горных разработок используются для разработки проектной документации, контроля над проведением горных работ, а также для экологического мониторинга. Дополнительно возможно построение ортофотопланов, цифровых моделей земной поверхности, которые помогают более точно оценивать ситуацию и разрабатывать эффективные стратегии управления месторождением [9].

Результаты съемки могут быть использованы для обновления картографической базы, мониторинга за состоянием бортов и уступов угольного разреза, а также для расчета объемов выемки и планирования последующих работ по добыче полезного ископаемого.

Применение БПЛА создало новые возможности для пространственного моделирования, так как БПЛА могут не только собирать различную информацию массовым способом, но и по специальному техническому заданию собирать информацию о конкретной модели: объекта или отдельного фрагмента. При этом важно, что такой сбор может контролироваться с земли и оператор может выбирать ракурс съемки и взаимное расположение датчика и объекта [10].

Заключение

Создание цифровых моделей земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых является одним из перспективных направлений, которое позволяет автоматизировать процессы мониторинга за состоянием техногенных объектов и производить прогнозирование и безопасное ведение горных работ. В дальнейшем при развитии данной технологии возможно внедрение искусственного интеллекта для автоматизированного анализа базы данных аэрофотосъемок, усовершенствование сенсоров БПЛА и их интеграция с различными геоинформационными системами.

В перспективе возможно повышение точности при создании трехмерных моделей за счет оптимизации параметров полета БПЛА, а также применения улучшенных алгоритмов при обработке снимков. Таким образом, цифровые модели земной поверхности, созданные с применением БПЛА, открывают широкие возможности для эффективного управления разработкой месторождений и мониторинга за деформациями земной поверхности. Координаты ранее закрепленных опознаков внесены в общую базу геоданных проекта и могут быть использованы для повторной текущей съемки и для проведения различных геодезических работ.

Благодарность

Авторы выражают благодарность сотрудникам маркшейдерско-геодезической службы ТОО «Разрез Кузнецкий» за консультацию и советы при написании данной статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 3D цифровые модели с помощью беспилотников // Межотраслевой журнал нацигационных технологий Вестник Глонас. 2022. № 3. С. 185–191 (на русском языке)
2. Колесатова О.С., Красавин А.В. Использование БПЛА для съемки объектов открытых горных работ // Глобус: геология и бизнес. 2020. № 3 (61). С. 27–33 (на русском языке)

3. Богданов К.В., Бекетова Е.Б. Применение беспилотных летательных аппаратов в геолого-геофизической разведке меторождений полезных ископаемых // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции, Апатиты: Мурманский государственный университет, 2019. С. 67–79 (на русском языке)
4. Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J. Структура по данным фотограмметрии движения в физической географии // Успехи физической географии. 2016. Т. 40. № 2. С. 247–275 (на английском языке)
5. Бузало Н.А., Кундрюцков Д.Н., Пономарев Р.Р. Использование БПЛА в маркшейдерии // Металлургия и горное дело Казахстана. 2021. № 3. С. 20–25 (на русском языке)
6. Применение беспилотных летательных аппаратов при обследовании зданий и сооружений // Строительство и архитектура. 2022. № 1. С. 6–10 (на русском языке)
7. Gerke M. и др. Ориентация наборов наклонных бортовых изображений – результаты тестирования ISPRS/EUROSDR по мультиплатформенной фотограмметрии // Международный архив фотограмметрии, дистанционного зондирования и наук о пространственной информации, XXIII Конгресс ISPRS, 2016. Т. XLI-B1. № 41. С. 185–191 (на английском языке)
8. Классификатор случайных лесов, основанный на характеристиках сравнения пикселей для городских лидарных данных / Wang C. [и др.] // ISPRS J Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. С. 75–86 (на английском языке)
9. Прикладная фотограмметрия: учебник для вузов: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 – Фотограмметрия и кадастры / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академический проект, 2016. 254 с. (на русском языке)
10. Ознамец В.В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов // Образовательные ресурсы и технологии. 2020. № 1. С. 83–91 (на русском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ҰҒА көмегімен 3D сандық модельдер жасау // Навигациялық технологиялар салалары арасындағы журнал «Глонасс Вестнигі». 2022. № 3. Б. 185–191 (орыс тілінде)
2. Колесатова О.С., Красавин А.В. Ашық тау-кен жұмыстары объектілерінің түсірілімінде ҰҒА қолдану // Глобус: геология және бизнес. 2020. № 3 (61). Б. 27–33 (орыс тілінде)
3. Богданов К.В., Бекетова Е.Б. Пайдалы қазбалар кен орындарын геологиялық-геофизикалық барлауда ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану // Бүкілресейлік ғылыми-практикалық конференция материалдарының жинағы, Апатиты: Мурманск мемлекеттік университеті баспасы, 2019. Б. 67–79 (орыс тілінде)
4. Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J. Қозғалыс құрылымына негізделген фотограмметрияның физикалық географиядағы қолданысы // Progress in Physical Geography. 2016. Т. 40. № 2. Б. 247–275 (ағылшын тілінде)
5. Бузало Н.А., Кундрюцков Д.Н., Пономарев Р.Р. Маркшейдерияда ҰҒА қолдану // Қазақстанның металлургия және тау-кен ісі. 2021. № 3. Б. 20–25 (орыс тілінде)
6. Ғимараттар мен құрылыстарды зерттеуде ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану // Құрылыс және сәулет. 2022. № 1. Б. 6–10 (орыс тілінде)
7. Gerke M. және басқалар. Қисайған борттық кескіндер жиынтықтарын бағыттау – ISPRS/EUROSDR мультиплатформалық фотограмметрия бойынша тестілеу нәтижелері // Халықаралық фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және ғарыштық ақпарат ғылымдары мұрағаты, XXIII Конгресі ISPRS, 2016. Т. XLI-B1. № 41. Б. 185–191 (ағылшын тілінде)
8. Қалалық лидар деректері үшін пиксельдерді салыстыру сипаттамаларына негізделген кездейсоқ ормандар классификаторы / Wang C. [және т. б.] // ISPRS J Photogramm Remote Sens. 2019. № 148. Б. 75–86 (ағылшын тілінде)
9. Қолданбалы фотограмметрия: жоғары оқу орындарына арналған оқулық: 21.04.02 – Фотограмметрия және кадастрлар мамандығы бойынша білім алушыларға арналған / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.: Академиялық жоба. 2016. 254 б. (орыс тілінде)
10. Ознамец В.В. Кеңістіктік түсірілім және ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдана отырып модельдеу // Білім беру ресурстары мен технологиялары. 2020. № 1. Б. 83–91 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. 3D tsifrovye modeli s pomoshch'yu bespilotnikov [3D Digital Models Using Drones], Mezhotraslevoi zhurnal natsigatsionnykh tekhnologii Vestnik Glonas [Intersectoral Journal of Navigation Technologies GLONASS Bulletin]. 2022. No. 3. 185–191 pp. (in Russian)
2. Kolesatova O.S., Krasavin A.V. Ispol'zovanie BPLA dlya s"emki ob"ektov otkrytykh gornykh rabot [Use of UAVs for Surveying Open-Pit Mining Sites], Globus: geologiya i biznes [Globus: Geology and Business]. 2020. No. 3 (61). 27–33 pp. (in Russian)

3. Bogdanov K.V., Beketova E.B. *Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v geolo-geoficheskoi razvedke metorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Application of Unmanned Aerial Vehicles in Geological and Geophysical Exploration of Mineral Deposits], *Sb. materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference], Apatity: Murmanskii gosudarstvennyi universitet, 2019. 67–79 pp. (in Russian)
4. Smith M.W., Carrivick J.L., Quincey D.J. *Structure from Motion Photogrammetry in Physical Geography* // *Progress in Physical Geography*. 2016. V. 40. No. 2. 247–275 pp. (in English)
5. Buzalo N.A., Kundryutskov D.N., Ponomarev R.R. *Ispol'zovanie BPLA v marksheiderii* [Application of UAVs in Mine Surveying], *Metallurgiya i gornoe delo Kazakhstana* [Metallurgy and Mining of Kazakhstan]. 2021. No. 3. 20–25 pp. (in Russian)
6. *Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri obsledovanii zdanii i sooruzhenii* [Application of Unmanned Aerial Vehicles for the Inspection of Buildings and Structures], *Stroitel'stvo i arkhitektura* [Construction and Architecture]. 2022. No. 1. 6–10 pp. (in Russian)
7. Gerke M. et al. *Orientation of Sets of Oblique Aerial Images – Results of the ISPRS/EUROSDR Benchmark on Multi-Platform Photogrammetry* // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXIII ISPRS Congress, 2016*. V. XLI-B1. No. 41. 185–191 pp. (in English)
8. *Pixel Comparison Feature-Based Random Forest Classifier for Urban LiDAR Data* / Wang C. [et al.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019. V. 148. 75–86 pp. (in English)
9. *Prikladnaya fotogrammetriya: uchebnik dlya vuzov: dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki 21.04.02 – Fotogrammetriya i kadastry* [Applied Photogrammetry: A Textbook for Universities: For Students of the 21.04.02 – Photogrammetry and Cadastral Studies Program], A.N. Limonov, L.A. Gavrilova. Moscow: Akademicheskii proekt. 2016. 254 p. (in Russian)
10. *Oznamets V.V. Prostranstvennaya s'emka i modelirovanie s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Spatial surveying and modeling using unmanned aerial vehicles], *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational resources and technologies]. 2020. No. 1. 83–91 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Игемберлина М.Б., доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), igemberlina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

Жунусова Г.Е., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), lenu_gulya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5472-4061>

Туякбай А.С., доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Химия, химическая технология и экология» Казахского университета технологии и бизнеса им. К. Кулажанова» (г. Астана, Казахстан), assem_jan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7333-6419>

Жаксыбаева А.Б., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), zhaksybaeva.2002@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-1571-3281>

Авторлар туралы мәліметтер:

Игемберлина М.Б., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доцент м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жунусова Г.Е., т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Туякбай Ә.С., Ph.D докторы, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының доцент м.а. (Астана қ., Қазақстан)

Жаксыбаева Ә.Б., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

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

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

Tuyakbay A.S., Doctor of Ph.D, acting associate professor of the Department of Chemistry, Chemical technology and Ecology, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business (Astana, Kazakhstan)

Zhaksybayeva A.B., master's student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

miningmetals

UZBEKISTAN

19-я Международная выставка
**Горное дело, металлургия
и металлообработка**

2025

28 | 29 | 30 Октября
Ташкент, Узбекистан



Iteca Exhibitions

Тел: +998 71 205 18 18; +998 94 800 18 18

E-mail: mining@iteca.uz; Web: www.mining.uz



Код МРНТИ 87.35.91

A. Anarbayev¹, *N. Abdimalip², G. Shalabayeva², A. Beskempirova³¹M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan),²Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan),³Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan)

THE ECOLOGICAL IMPORTANCE OF PROCESSING PHOSPHATE RAW MATERIALS TO PRODUCE FINISHED PRODUCTS

Abstract. The article discusses the current problem of the phosphorus industry related to the development of technology for the production of highly effective mineral fertilizers based on substandard phosphate raw materials. Phosphorites from the Chilisai deposit are proposed as such raw materials, which are classified as low-grade due to their high carbonate content (4.56–6.34% in terms of CO_2). This creates environmental problems. Scanning electron microscopy and X-ray fluorescence analysis methods were used to study the physico-chemical properties of phosphorite samples. The results showed that phosphorites consist mainly of quartz grains of various sizes (from 0.002 to 15 mm) cemented with phosphate. Based on the conducted research, the optimal parameters of the technological process for obtaining monocalcium phosphate from this raw material have been determined.

Key words: ecology, phosphorus industry, processing, X-ray fluorescence analysis, fertilizers, monocalcium phosphate.

Дайын өнімді алу үшін фосфат шикізатын өңдеудің экологиялық маңызы

Аннотация. Мақалада фосфат өнеркәсібінің өзекті проблемасы қарастырылады, ол кондиционерленбеген фосфат шикізаты негізінде жоғары тиімді минералды тыңайтқыштарды өндіру технологиясын әзірлеуге байланысты. Мұндай шикізат ретінде Чилисай кен орнының фосфориттері ұсынылады, олар карбонаттардың жоғары болуына байланысты төмен сортты болып жіктеледі (CO_2 бойынша 4,56–6,34%). Бұл жағдай экологиялық проблемаларды тудырады. Фосфорит үлгілерінің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу үшін растрлық электронды микроскопия және рентген-флуоресцентті талдау әдістері қолданылды. Нәтижелер фосфориттердің негізінен фосфатпен цементтелген әртүрлі мөлшердегі (0,002-ден 15 мм-ге дейін) кварц дәндерінен тұратынын көрсетті. Жүргізілген зерттеулер негізінде осы шикізаттан монокальций фосфатын алудың технологиялық процесінің оңтайлы параметрлері анықталды.

Түйінді сөздер: экология, фосфор өнеркәсібі, өңдеу, рентген-флуоресцентті талдау, тыңайтқыштар, монокальций фосфаты.

Экологическая значимость переработки фосфатного сырья для получения готовой продукции

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема фосфорной промышленности, связанная с разработкой технологии производства высокоэффективного минерального удобрения на основе некондиционного фосфатного сырья. В качестве такого сырья предложены фосфориты Чилисайского месторождения, которые классифицируются как низкосортные из-за высокого содержания карбонатов (4,56–6,34% в пересчете на CO_2). Это обстоятельство создает экологические проблемы. Для изучения физико-химических свойств образцов фосфоритов были использованы методы растровой электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа. Полученные результаты показали, что фосфориты состоят преимущественно из зерен кварца различного размера (от 0,002 до 15 мм), сцементированных фосфатом. На основе проведенных исследований определены оптимальные параметры технологического процесса получения монокальцийфосфата из данного сырья.

Ключевые слова: экология, фосфорная промышленность, переработка, рентгенофлуоресцентный анализ, удобрения, монокальцийфосфат.

Introduction

The ecological importance of processing phosphate raw materials is expressed in several key aspects that contribute to environmental protection, the rational use of natural resources and the reduction of negative impacts on ecosystems. Since phosphates are non-renewable natural resources, their reserves are gradually being depleted. The processing of phosphate raw materials allows you to reuse valuable components, extracting them from production waste or used fertilizers, which contributes to a more efficient and careful use of resources. In addition, processing reduces the burden on ecologically vulnerable areas where phosphate ores are mined, reducing the risks of destruction of natural ecosystems and reducing the need for energy-intensive and environmentally unsafe mining methods. With dwindling reserves of rich phosphate ores in Karatau, the mineral fertilizer industry is forced to process raw materials with a lower P_2O_5 content. This makes it particularly relevant to develop new ore processing technologies and create alternative schemes for obtaining fertilizers from phosphate raw materials. The Chilisai phosphorite deposit, also characterized by a low P_2O_5 content, is located in the Oktyabrsky district of the Aktobe region. In the central part of the deposit is the railway station of the phosphorite mine, located on the 17th kilometer of the Kandahach-Atyrau railway line, which crosses the deposit from northeast to southwest. The area has been actively developed economically, and the deposit itself has been explored in detail [1].

This deposit is the largest in the Aktobe phosphorous-bearing basin. The useful stratum is represented by a horizon of nodular phosphorites of Santon-Campanian age, and a slab of nodular phosphorites lies in the roof, the dimensions of which reach 7 cm. The thickness of the phosphorite-bearing reservoir varies between 0.4–1.6 m. The phosphorite layer is overlain by Campanian carbonate clays, whose thickness ranges from 0.35 to 7 m. The total area of the phosphorite formation in the deposit is 1,555 km². In a significant area of the deposit, the phosphorite layer reaches the daytime surface, being covered only with modern sandy loams or loams with a thickness from 0 to 1 m [2].

The average content of P_2O_5 in natural ore is 10.27%, in washed concentrate – 17.5%, and in flotation concentrate – 23.8%. Phosphorite ore contains on average from 9% to 11% P_2O_5 and impurities such as Fe_2O_3 (2–4%), Al_2O_3 (2.5–4%) and CO_2 (2–5%). Depending on the content of harmful components, the following types of ores are distinguished: easily enriched low-iron ores ($\text{Fe}_2\text{O}_3 < 3\%$, $\text{CO}_2 < 3.5\%$), ferruginous ores ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 3.8\%$), as well as carbonate and carbonate-ferruginous ores (CO_2 4.5–5.2%, Fe_2O_3 2.7–3.6%) [3]. The phosphorite reserves of the Chilisai deposit are shown in table 1.

Note: Ore – thousand tons, P_2O_5 – thousand tons, reserves of dry phosphorite ore are calculated at volume weights of 1.92–2.12 tons/m³. The natural moisture content of the ore is 5%.

*Reserves of Chilisai phosphorite**Чилисай фосфоритінің қоры**Запасы Чилисайского фосфорита**Table 1**Кесте 1**Таблица 1*

Category	Balance sheets, thousand tonnes (kt)		Off-balance sheet, thousand tonnes (kt)	
	Total	Including in the career contour	Total	Including in the career contour
A	<u>47923</u> 5140	<u>47923</u> 5140	<u>8058</u> 896	<u>8058</u> 896
B	<u>136162</u> 14602	<u>136162</u> 14602	<u>23307</u> 2488	<u>23307</u> 2486
C ₁	<u>474469</u> 49275	<u>201190</u> 21562	<u>395360</u> 37124	<u>118013</u> 12346
C ₂	<u>492131</u> 40872	<u>3317</u> 362	-	-

The production of phosphorous fertilizers is a critically important stage in ensuring global food security. Phosphorus, which is an essential macronutrient for plants, is present in nature mainly in the form of phosphorites, sedimentary rocks with a phosphate content ranging from 15 to 40%, although richer deposits are also found. Phosphorite mining is carried out both in an open-pit (quarry) method, which is more economical with a high concentration of minerals and favorable geological conditions, and underground (mine), which is necessary when phosphorite formations occur at great depths or with complex field geometry. The choice of extraction method directly affects the cost of the final product and the environmental impact [4, 5].

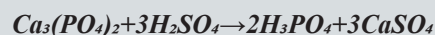
After extraction from the subsoil, phosphorites are thoroughly crushed and crushed into fractions, the size of which is determined by the technological process of obtaining fertilizers. The purpose of this stage is to maximize the surface area of phosphorite particles in order to ensure effective interaction with acid in subsequent stages. The quality of the grinding is critically important because it directly affects the reaction rate and the degree of phosphorus extraction. Various types of crushing and grinding equipment are used, from jaw and cone crushers to ball and vibrating mills, the choice of which depends on the hardness and physical properties of a particular type of phosphorite [6].

The most common method of obtaining phosphoric acid from phosphorites is the sulfate method based on the interaction of phosphorite with sulfuric acid. However, this is not the only way. There are other technologies such as the thermal method, where phosphorite is processed at high temperatures, and the extraction method using organic solvents. The choice of method is determined by economic factors, the availability of raw materials and the quality requirements of the final product.

Let's take a closer look at the sulfate method. Crushed phosphorite is mixed with sulfuric acid in special reactors, where

an exothermic reaction occurs, which generates a significant amount of heat. As a result, phosphoric acid, gypsum (calcium sulfate) and other by-products are formed, the composition of which depends on the chemical composition of phosphorite. It is important to carefully control the process parameters: sulfuric acid concentration, temperature, and reaction time. The yield of phosphoric acid and its quality depend on this [7].

The resulting phosphoric acid is usually purified from impurities, after which it is used to produce various phosphorous fertilizers such as superphosphate, ammophos, nitroammophoska and others. The composition and properties of these fertilizers are determined by the ratio of phosphorus, nitrogen and other elements necessary for the proper nutrition of plants. Gypsum formed as a by-product can also be used, for example, in the construction industry or in agriculture to improve soil properties. However, its large volumes require addressing issues of its disposal or recycling, which is an important task for the environmentally responsible production of phosphorous fertilizers. In addition, the efficiency of phosphorite extraction and processing is constantly being improved in order to minimize waste and increase resource efficiency. The research is aimed at developing more environmentally friendly technologies, reducing energy consumption and increasing the efficiency of phosphorus extraction [8].



Phosphoric acid is a fundamental substance in the production of phosphorous fertilizers, which play a critical role in modern agriculture. These fertilizers make up for the lack of phosphorus in the soil, a vital element for plant development. Phosphorus is involved in a variety of biochemical processes, providing root system formation, flowering, fruiting and, importantly, increasing plant immunity to diseases and pests. Phosphorus deficiency manifests itself in slow growth, pale leaf color, poor root development, and decreased yield. Therefore, the use of phosphorous fertilizers is a prerequisite for obtaining high and high-quality yields of most crops [9].

Superphosphate is one of the most common phosphorous fertilizers. Its production is based on the reaction of phosphoric acid with phosphorites, which are natural minerals containing calcium phosphates. Depending on the raw materials used, there is a distinction between simple superphosphate (obtained by reaction with phosphorite) and double superphosphate (obtained by reaction with phosphorite and sulfuric acid). Double superphosphate contains a higher phosphorus content, which makes it more cost-effective for transportation and application.

Ammophos is a complex nitrogen-phosphorus fertilizer obtained by neutralizing phosphoric acid with ammonia. It contains two main nutrients at the same time – nitrogen and phosphorus, which makes it especially effective for fertilizing plants that need both of these elements. The ratio of nitrogen and phosphorus in ammonium may vary depending on the technological process [10].

In addition to these, there are many other types of phosphorous fertilizers produced by various methods. For example, the ammonification of phosphorites can be used, which results in the formation of ammonium phosphate fertilizers. Carbonate methods of processing phosphorites are also used, which make

it possible to obtain preparations with different ratios of nutrients. The choice of a specific type of fertilizer depends on the type of soil, the type of crop being grown, and its nutrient needs.

However, the production of phosphorous fertilizers is not without environmental problems. The extraction of phosphorites is accompanied by landscape disturbance and environmental pollution. Production processes are associated with greenhouse gas emissions, in particular, carbon dioxide, as well as other pollutants. Various technologies are used to minimize the negative impact on the environment, including the improvement of phosphorite extraction methods, the introduction of energy-efficient fertilizer production technologies and the development of industrial emissions treatment systems. Research is actively underway to create more environmentally friendly technologies for the production of phosphorous fertilizers, for example, the use of renewable energy sources and the development of waste-free industries. It is also an important task to develop methods for the rational use of phosphorus fertilizers in order to minimize nutrient losses and prevent their ingress into reservoirs [11].

Phosphorite treatment, especially with the use of sulfuric acid, can cause the release of dangerous gases into the atmosphere. The sulfate processing of phosphorites releases sulfur dioxide (SO_2), which can be converted into sulfuric acid in the atmosphere, contributing to the formation of acid rain. Phosgene ($COCl_2$) and compounds containing fluorine may occur among the by-products of improper phosphorite processing, especially if fluorides are present in the starting material. These substances pose a serious threat to health. Recycling also generates waste with toxic components that can pollute water sources and soil. Fluorides can affect aquatic ecosystems with their toxic effects. Calcium sulfate (gypsum) ($CaSO_4$), formed during processing, can cause difficulties with drainage, creating precipitation that degrades water quality. Additionally, mechanical processing of phosphorites can lead to the formation of dust with heavy metals, which negatively affects the health of workers and local residents. Phosphorites also contain small amounts of radioactive elements such as uranium (U) and thorium (Th), which requires special handling of radioactive waste [12].

Materials and methods

Various techniques were used in the study, such as chemical analysis, X-ray phase analysis and scanning electron microscopy. The main attention was paid to the decomposition of phosphate raw materials from the Chilisaï deposit in interaction with phosphoric acid.

Chilisaï phosphorites contain significant amounts of carbonates, which in equivalent results in 4.56% carbon dioxide, as well as glaconites. During the decomposition of these phosphorites, a large mass of stable and difficult-to-decompose foam is formed, caused by the release of carbon dioxide. This phenomenon complicates the decomposition of phosphate raw materials, as it reduces the useful volume of the reaction chamber by 60–80%, increases the loading time of phosphorite and the total reaction time.

It is proposed to solve the problem of foaming by pretreating phosphate raw materials in a loose state with phosphoric acid, adding a decarbonization stage before the decomposition

of phosphorite. At this stage, optimal conditions (temperature, norm, acid concentration) are selected to maximize the decarbonization of Chilisaï phosphorite.

To simplify the decomposition process of decarbonized phosphorite, it is necessary to determine the optimal parameters – the rate and concentration of phosphoric acid, as well as the decomposition time. At the stage of hot filtration, at 100 °C, the insoluble residue is separated from the monocalcium phosphate solution, but this process is complicated due to the content of organic matter in phosphorite. To speed up filtration, granular materials such as sand can be added to the filter surface to increase the filter area and improve the process.

After crystallization of monocalcium phosphate, the precipitate is filtered. The mother liquor is returned to the sulfatization process to obtain phosphoric acid. A neutralizing reagent is needed to neutralize the free acidity in monocalcium phosphate. In this case, calcium carbonate with a content of 88% $CaCO_3$ is used.

Results

Phosphorite samples No. 1 and No. 2 were used to analyze the elemental and mineralogical composition. The elemental analysis was performed using a JSM-6490LV scanning electron microscope, which is equipped with the INCA Energy 350 energy dispersion microanalysis system and the HKL Basic polycrystalline sample structural and textural analysis system. Figure 1 shows the energy of the dispersion analysis of phosphorites from the Chilisaï deposit.

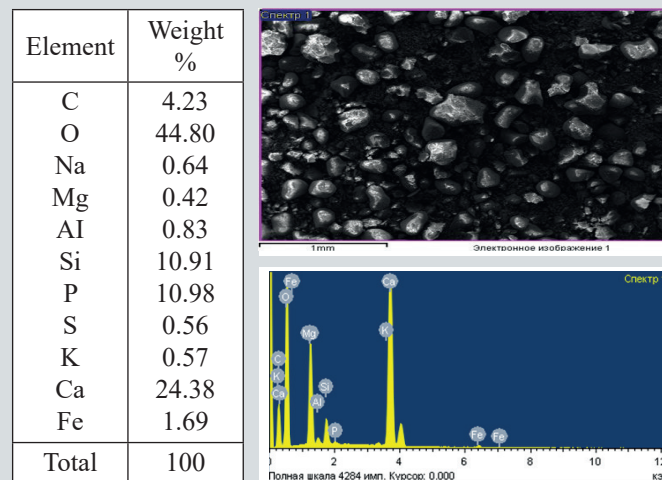


Figure 1. Energy-dispersion analysis of phosphorites from the Chilisaï deposit.

Сурет 1. Чилисай кен орнының фосфориттерін энергия-дисперсиялық талдау.

Рис. 1. Энергия-дисперсионный анализ фосфоритов месторождения Чилисай.

Figure 1 shows that the elemental analysis of phosphorite differs in the content (sample No. 1) of the following elements: **P, Ca, Mg, Fe, Si, C.**

X-ray diffractometric analysis was performed on an automated diffractometer DRON-3 with $Cu_{K\alpha}$ radiation, a β -filter. Conditions for recording diffractograms: $U = 35$ kV; $I = 20$ mA; recording θ -2 θ ; detector 2 deg/min. X-ray phase

analysis in a semi-quantitative version was carried out using diffractograms of powder samples using the method of equal weights and synthetic mixtures. Quantitative ratios of crystalline phases were established. The diffractograms were analyzed based on data from the ICDD file: PDF2 powder diffraction data base Release 2022 and diffractograms of samples without mineral admixtures. The content was calculated for the key stages. Possible impurities, the identification of which is difficult due to low concentrations and the presence of only 1–2 diffraction reflections or insufficient crystallinity of compounds. The mineralogical composition of sample No. 1 is shown in table 2.

Table 2

Results of semi-quantitative X-ray phase analysis of the crystalline phases of sample No. 1

Кесте 2

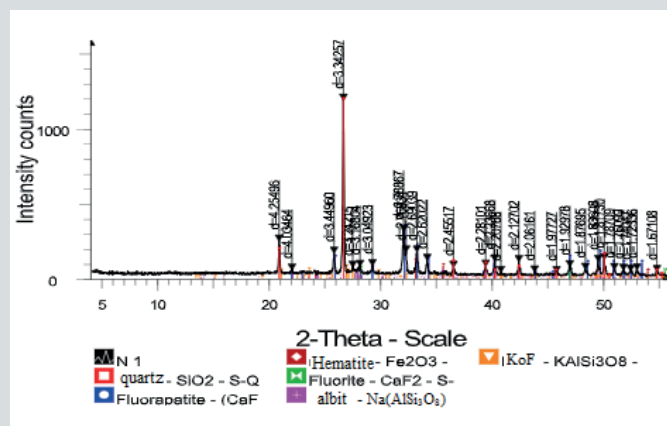
№ 1 Үлгідегі кристалдық фазалардың жартылай сандық рентгендік фазалық талдауының нәтижелері

Таблица 2

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз образца № 1

The mineral	Formula	Concentration, %
Quartz	SiO_2	54,8
Fluorapatite	$(CaF)Ca_4(PO_4)_3/CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4)_2$	26,6
Hematite	Fe_2O_3	8,2
Fluorite	CaF_2	5,7
Albit	$Na(AlSi_3O_8)$	2,4
Classes of feldspar	$KAlSi_3O_8$	2,3

X-ray analysis of the crystalline phase (table 2) revealed that sample No. 1 mainly consists of SiO_2 (54.7%), $(CaF)Ca_4(PO_4)_3/CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4)_2$ (26.6%), Fe_2O_3 (8.2%), and the minerals fluorite and albite. The diffractogram of phosphate sample No. 1 is shown in figure 1.



(H_2O)₄) with the lattice parameter $d/n = 7.82219 \text{ \AA}$, lizardite ($Mg_3(Si_2O_5(OH)_4)_2$) with the lattice parameter $d/n = 7.32308 \text{ \AA}$, dolomite ($CaMg(CO_3)_2$) with the lattice parameter $d/n = 2.88428 \text{ \AA}$, magnesite ($MgCO_3$) with the lattice parameter $d/n = 2.74893 \text{ \AA}$. The intensity of the detected peaks confirms the presence of these minerals in the sample.

Analysis of sample No. 1 revealed that phosphate raw materials from the Chilisaï deposit are classified as sandstone. It mainly consists of quartz grains of various sizes (0.002–15 mm) cemented with phosphate. Hydrated iron oxides, glauconite, limonite, pyrite, feldspars, gypsum, and carbonates were found in smaller quantities. Sample No. 2 is mainly represented by grains of the minerals lizardite and sjoegrenite.

Phosphorites of the Chilisaï deposit are characterized by significant variability in their mineral composition. The quality of phosphorites varies significantly depending on the concentration of impurities that negatively affect the technological parameters of the products obtained. Quartz is represented by rounded platbands, as well as large and small angular grains. The grains are mainly composed of pure quartz, the surface of some of them is covered with films of limonite or hydrous mica.

Limonite is a product of the oxidation of minerals containing iron, such as pyrite and glauconite. It is found in pebble deposits in the form of large accumulations or fine powder on the surface of glauconite, pyrite and quartz. The proportion of organic matter in the phosphorites of the Chilisaï deposit reaches 0.8% and is mainly associated with phosphate matter and clay materials. During the experiment, a sample of phosphorite from the Chilisaï deposit was used, the chemical composition of which is described in detail in table 4.

Table 4
Chemical composition of phosphorite from the Chilisaï deposit (sample No. 1)

Кесте 4
Чилисай кен орнының фосфоритінің химиялық құрамы (№ 1 үлгі)

Таблица 4
Химический состав фосфорита Чилисайского месторождения (образец № 1)

Component	Content, %	The mineral
P_2O_5	26,40	Apatite
CaO	37,16	Feldspar
MgO	0,75	Hydrosilicates
Na_2O	0,95	Glauconitis
Al_2O_3	1,69	Glauconitis
Fe_2O_3	2,35	Glauconitis
SO_3	1,45	Pyrite, goethite
CO_2	4,56	Kurskite
F	3,39	Fluorite
K_2O	0,76	Glauconitis
SiO_2	25,04	Kurskite
Total	100	

An analysis of the data presented in table 4 shows that phosphorite from the Chilisaï deposit is characterized by the following chemical composition: 26.40% P_2O_5 , 37.16% CaO , 25.04% SiO_2 and up to 4.56% CO_2 . During the research, phosphorite samples were subjected to thermal decomposition at a temperature of 95–1000 °C for 40–50 minutes. The duration of the process varied depending on the specific sample and the required amount of phosphoric acid. To obtain monocalcium phosphate from Chilisaï phosphorite, a mixture of extraction and thermal phosphoric acid with a concentration of 50–56% H_3PO_4 was used. The sulfatization of the solution, followed by the formation of gypsum, was carried out using 93% sulfuric acid.

Discussion

Phosphoric acid of a certain concentration was used in the first cycle. Decomposition was carried out in a thermostatically controlled reactor equipped with a stirrer. At the end of decomposition, the pulp is filtered on a heated vacuum filter through a filter cloth (2 layers) at a dilution of 0.6–0.7 kg / cm², the filtration time was measured. The precipitate was washed with a certain amount of water heated to 75–80 °C. The washed precipitate was dried, weighed, and analyzed for total P_2O_5 and digestible P_2O_5 content. The phosphate decomposition coefficient and the filtration rate of the residue were determined.

After separating the insoluble impurities, the filtrate was placed in a thermostatically controlled reactor equipped with a stirrer. During cooling to a temperature of 40–45 °C and subsequent exposure for 60–90 minutes with slow stirring, crystals formed. The formed crystals were separated by filtration on a vacuum filter. The resulting precipitate was weighed and analyzed for the content of total P_2O_5 , $Ca(H_2PO_4)_2$ and H_3PO_4 . Wet crystalline monocalcium phosphate (MCF) was treated with limestone to neutralize free acid. After drying, the precipitate was weighed and analyzed for the content of all forms of P_2O_5 .

The sulfatization process of the initial sulfuric acid solution was carried out in a thermostatically controlled reactor equipped with a mechanical mixer. The temperature of the solution was maintained at no higher than 60 °C. After 20 minutes after mixing the reagents, the formed calcium sulfate crystals were separated by vacuum filtration. The resulting precipitate was washed with hot water (75–80 °C), after which weighing, drying until a constant mass was reached, and laboratory analysis for total P_2O_5 , and P_2O_5 aqueous, F , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , and SO_3 were performed.

After separating the calcium sulfate, the filtrate was weighed and analyzed to determine the content of free H_3PO_4 , H_2SO_4 , MgO , Al_2O_3 , and F . After that, the filtrate was sent back to the decomposition stage in the next cycle. The second washing of the insoluble residue and gypsum was carried out first with previously obtained filtrates from the first washing of n.o. and gypsum, and then with water. In the third and subsequent cycles, the washing of oil and gypsum was carried out in three stages: in the first two stages, filtrates obtained at previous stages of washing in the previous cycle were used, and in the third stage, water was used. The filtrate obtained after the first washing of the oil was added to the base solution obtained

after separation of the crystals in the corresponding cycle. The filtrate obtained after the first washing of gypsum was mixed with recycled phosphoric acid (the main filtrate) obtained after the separation of calcium sulfate crystals in the same cycle. Thus, the implemented procedure allowed the regeneration of phosphoric acid used for the decomposition of phosphorite.

In the course of the research, the optimal parameters of the technological process for obtaining monocalcium phosphate from phosphorite were established.

These parameters include:

1. Phosphoric acid concentration in the range of 36–42% P_2O_5 .
2. The ratio of the amount of recycled phosphoric acid to the stoichiometric amount required for the formation of monocalcium phosphate should be 540–560%.
3. The temperature of the decomposition process should be within 95–100 °C.
4. The duration of the decomposition process is 40–50 minutes.
5. The filtration temperature of the insoluble residue varies from 85 to 90 °C.
6. Monocalcium phosphate crystallization is carried out at a temperature of 40–45 °C.
7. The duration of the crystallization process is 85–90 minutes.
8. The concentration of sulfuric acid used for sulfatization of the mother liquor should be in the range of 86–93% H_2SO_4 .
9. The ratio of the amount of sulfuric acid to the stoichiometric amount required for the decomposition of $Ca(H_2PO_4)_2$ in solution to form gypsum and phosphoric acid is 95–100%.

The decomposition of phosphate raw materials by the circulating method using phosphoric acid of 540–560% of the stoichiometric amount to form monocalcium phosphate allowed the transfer of $Ca(H_2PO_4)_2$ into solution and impurities into a precipitate with phosphogypsum.

Thus, based on the conducted research, the optimal modes of the process of obtaining monocalcium phosphate from phos-

phate raw materials of the Chilisai deposit have been determined. Monocalcium phosphate is a highly effective phosphorous fertilizer widely used in the agricultural sector. This compound serves as a source of phosphorus, which plays a key role in the process of plant growth and development. One of the advantages of monocalcium phosphate is its high solubility in water, which provides plants with prompt access to phosphorus. This property is especially valuable at the stages of root system formation, flowering and fruiting. Unlike a number of other phosphorous fertilizers, such as superphosphate, monocalcium phosphate is able to slightly reduce soil acidity, which is a significant advantage in regions with predominantly acidic soils. In addition, monocalcium phosphate does not contain impurities that can pollute water resources, which makes it an environmentally friendly product compared to some other types of fertilizers.

Conclusion

Monocalcium phosphate is a highly effective fertilizer that helps to quickly provide plants with phosphorus and increase yields. Its use is especially advisable in situations requiring prompt and accurate application of nutrients, as well as in the composition of complex fertilizers. Despite this, the high cost of monocalcium phosphate and the need for precise dosage may limit its use. The production of monocalcium phosphate is characterized by significant energy consumption. Heat treatment of phosphorites, especially at high temperatures to produce phosphoric acid, can be accompanied by significant emissions of carbon dioxide (CO_2) and other greenhouse gases. The use of fossil fuels as an energy source also has a negative impact on the climate. It is important to note that, despite the effectiveness and relative safety of monocalcium phosphate for plants, its production is associated with a number of environmental problems, such as pollution of water resources and the atmosphere, accumulation of toxic waste and high energy consumption. However, the introduction of modern technologies and production methods can significantly minimize these risks, contributing to sustainable fertilizer production.

REFERENCES

1. Lygach A.V. Tekhnologiya polucheniya fosfatnykh koncentratov dlya himicheskoy pererabotki na slozhnye koncentrirovannye udobreniya iz zhelvakovykh fosforitov peschanistogo tipa (na primere Chilisajskogo mestorozhdeniya) [Technology of obtaining phosphate concentrates for chemical processing into complex concentrated fertilizers from sandy-type nodular phosphorites (on the example of the Chilisai deposit)], *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil use of the XXI century]. 2018. No. 2. 70–77 pp. (in Russian)
2. Zhantasov K.T. Issledovanie processa sinteza diammonijfosfata iz ekstraktivnoj fosfornoj kisloty sbalansirovannykh fosfatno-kremnievykh form bassejna Karatau [Research of the process of synthesis of diammonium phosphate from extractive phosphoric acid from balanced phosphate-silicon shapes of the Karatau basin], Zhantasov K.T. [et al], *Rossijskij himicheskij zhurnal* [Russian Chemical Journal]. 2022. V. 15 (2). 914–919 pp. (in Russian)
3. Elatontsev D.A., Mukhachev A.P., Korovin Y.F. Sorbciya urana i redkozemel'nykh elementov dlya udaleniya radioaktivnykh primesej pri pererabotke fosfatsoderzhashchego syr'ya [Sorption of Uranium and Rare-Earth Elements to Remove Radioactive Impurities in the Processing of Phosphate-containing Raw Materials], *Radiohimiya* [Radiochemistry]. 2021. No. 63. 477–483 pp. (in Russian)
4. Ettoumi M. Et al. (15 february 2021). Characterization of phosphate processing sludge from Tunisian mining basin and its potential valorization in fired bricks making. *Journal of Cleaner Production*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620347946?via%3Dihub> (in English)
5. Mwalongo A., Haneklaus D.A., Lisuma N.H. Uranium in phosphate rocks and mineral fertilizers applied to agricultural soils in East Africa // *Environ Sci Pollut*. 2023. V. 30. 33898–33906 pp. (in English)

6. Vernardou D. (20 October 2022). Recent Report on the Hydrothermal Growth of LiFePO_4 as a Cathode Material. Coatings. <https://www.mdpi.com/2079-6412/12/10/1543> (in English)
7. Essaid B. et al. (15 August 2023). Phosphogypsum circular economy considerations: A critical review from more than 65 storage sites worldwide. Journal of Cleaner Production. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623017195?via%3Dihub> (in English)
8. Chernysh Y., Yakhnenko O., Chubur V., Roubik H. (9 February 2021). Phosphogypsum Recycling: A Review of Environmental Issues, Current Trends, and Prospects. Applied Sciences. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1575> (in English)
9. Recovery of Mining Wastes in Building Materials: A Review / Ally A.N. [et al.] // Open Journal of Civil Engineering. 2021. V.11. 379–397 pp. (in English)
10. Rare earth elements in raw materials and products of the phosphate fertilizer industry in South America: Content, signature, and crystalline phases / Silvio J. [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. 2016. V.168. 177–186 pp. (in English)
11. Recovery of critical materials from mine tailings: A comparative study of the solvent extraction of rare earths using acidic, solvating and mixed extractant systems / Cristian T. [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 218. 425–437 pp. (in English)
12. Seraya N. et al. (21 October 2023). Production Waste Management: Qualitative and Quantitative Characteristics and the Calculation of the Hazard Class of Phosphogypsum. Processes. <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/3033> (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Лыгач А.В. Құмды типтегі сфералық фосфориттерден күрделі концентрацияланған тыңайтқыштарға химиялық өңдеу үшін фосфат концентраттарын алу технологиясы (Чилисай кен орны мысалында) // Жер қойнауын пайдалану ХХІ ғасыр. 2018. № 2. Б. 70–77 (орыс тілінде)
2. Экстрактивті фосфор қышқылынан диаммоний фосфатын синтездеу процесін зерттеу. / Жантасов К.Т. [және т. б.] // Ресейлік химиялық журнал. 2022. № 15 (2). Б. 914–919 (орыс тілінде)
3. Елатонцев Д.А., Мухачев А.П., Коровин Ю.Ф. Құрамында фосфор бар шикізатты өңдеу кезінде радиоактивті заттарды кетіру үшін изотоптар мен сирек жер элементтерінің сорбциясы // Радиохимия. 2021. № 63. Б. 477–483 (орыс тілінде)
4. Эттуми М. және т. б. (15 ақпан, 2021). Тунис тау-кен бассейнінде фосфатты өңдеуден түсетін шөгінділерге сипаттама және оның күйдірілген кірпіш өндірісінде әлеуетті қолданылуы берілген. «Экологиялық таза өндіріс» журналы. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620347946?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
5. Мвалонго А., Ханеклаус Д., Лисума Н. Шығыс Африкада ауылшаруашылық топырақтарын өңдеу үшін қолданылатын уран және фосфат жыныстары мен минералды тыңайтқыштар // Қоршаған ортаның ластануы. 2023. Т. 30. Б. 33898–33906
6. Вернард Д. (20 қазан 2022). Катодты материал ретінде LiFePO_4 гидротермиялық өсіру туралы соңғы есеп. Жабындар. <https://www.mdpi.com/2079-6412/12/10/1543> (ағылшын тілінде)
7. Эссаид Б. және т. б. (15 тамыз, 2023). Фосфогипс, айналмалы экономика: бүкіл әлем бойынша 65-тен астам сақтау орындарынан сыни шолу. Таза өндіріс журналы. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623017195?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
8. Черныш И., Яненко О., Чубур В., Рубик В. (9 ақпан 2021). Фосфогипсті қайта өңдеу: экологиялық мәселелерге, қазіргі тенденциялар мен перспективаларға шолу. Қолданбалы ғылымдар. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1575> (ағылшын тілінде)
9. Тау-кен қалдықтарын құрылыс материалдарына қайта өңдеу: шолу / Элли А.Н. [және т. б.] // Ашық құрылыс журналы. 2021. Т. 11. Б. 379–397 (ағылшын тілінде)
10. Оңтүстік Америкадағы фосфор тыңайтқыштарын өндіру шикізаты мен өнімдеріндегі сирек жер элементтері: мазмұны, тән белгілері және кристалдық фазалары. / Сильвио Дж. [және т. б.] // Геохимиялық зерттеулер мен иллюстрациялар журналы. 2016. Т. 168. Б. 177–186 (ағылшын тілінде)
11. Қалдық қоймаларынан маңызды материалдарды алу: қышқыл, еріткіш және аралас экстракция жүйелерін қолдана отырып, сирек жер элементтерін еріткішпен экстракциялауды салыстырмалы зерттеу. / Кристиан Т. [және т. б.] // Таза өндіріс журналы. 2019. Т. 218. Б. 425–437 (ағылшын тілінде)
12. Серая Н. және т. б. (21 қазан 2023 ж.). Өндіріс қалдықтарымен жұмыс: сапалық және сандық сипаттамалары және фосфогипстің қауіптілік класын есептеу. Процестер. <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/3033> (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыгач А.В. Технология получения фосфатных концентратов для химической переработки в сложные концентрированные удобрения из шаровидных фосфоритов песчаного типа (на примере месторождения Чилисай) // Недропользование ХХІ Век. 2018. № 2. С. 70–77 (на русском языке)
2. Исследование процесса синтеза диаммонийфосфата из экстрактивной фосфорной кислоты / Жантасов К.Т. [и др.] // Российский химический журнал. 2022. Вып. 15 (2). С. 914–919 (на русском языке)

3. Елатонцев Д.А., Мухачев А. П., Коровин Ю.Ф. Сорбция изотопов и редкоземельных элементов для удаления радиоактивных веществ при переработке фосфорсодержащего сырья // *Радиохимия*. 2021. № 63. С. 477–483 (на русском языке)
4. Эттуми М. и др. (15 февраля 2021 г.). Характеристика осадка от переработки фосфатов в Тунисском горнодобывающем бассейне и его потенциальное применение при производстве обожженного кирпича. *Журнал «Экологически чистое производство»*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620347946?via%3Dihub> (на английском языке)
5. Мвалонго А., Ханеклаус Д.А., Лисума Н.Х. Урановые и фосфатные породы и минеральные удобрения, применяемые для обработки сельскохозяйственных почв в Восточной Африке // *Загрязнение окружающей среды*. 2023. Т. 30. С. 33898–33906 (на английском языке)
6. Вернард Д. (20 октября 2022 г.). Отчет о гидротермальном выращивании LiFePO_4 в качестве катодного материала. *Покртия*. <https://www.mdpi.com/2079-6412/12/10/1543> (на английском языке)
7. Эссаид Б. и др. (15 августа 2023 г.) Экономика замкнутого цикла: критический обзор с более чем 65 площадок хранения по всему миру. *Журнал о чистом производстве*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623017195?via%3Dihub> (на английском языке)
8. Черныш И., Яненко О., Чубур В., Рубик В. (9 февраля 2021). Переработка фосфогипса: обзор экологических проблем, современных тенденций и перспектив. *Прикладные науки*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1575> (на английском языке)
9. Переработка отходов горной промышленности в строительные материалы: Обзор / Элли А. Н. [и др.] // *Открытый журнал гражданского строительства*. 2021. Т. 11. С. 379–397 (на английском языке)
10. Редкоземельные элементы в сырье и продуктах производства фосфорных удобрений в Южной Америке: содержание, характерные признаки и кристаллические фазы / Сильвио Дж. [и др.] // *Журнал геохимических исследований и иллюстраций*. 2016. Т. 168. С. 177–186 (на английском языке)
11. Извлечение важнейших материалов из хвостохранилищ: сравнительное исследование экстракции редкоземельных элементов растворителем с использованием кислотных, сольватирующих и смешанных экстрагирующих систем / Кристиан Т. [и др.] // *Журнал более чистого производства*. 2019. Т. 218. С. 425–437 (на английском языке)
12. Серая Н. и др. (21 октября 2023 г.). Обращение с отходами производства: качественные и количественные характеристики и расчет класса опасности фосфогипса. *Процессы*. <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/3033> (на английском языке)

Information about the authors:

Anarbayev A.A., Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of «Technologies of Inorganic and Petrochemical Industries», M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan), abib_28@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0019-4381>

Abdimutalip N.A., Ph.D, Associate Professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), nurlibek.abdimutalip@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-1173-4344>

Shalabayeva G.S., c.t.s., Acting Associate Professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), gulshat.shalabaeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3605-4708>

Beskempirova A.M., Senior Lecturer of the Department of History and Geography in Education, Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan), Aygerim.beskempirova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9360-3465>

Авторлар туралы мәліметтер:

Анарбаев А.А., профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірістерінің технологиялары» кафедрасының техника ғылымдарының докторы (Шымкент қ., Қазақстан)

Әбдімүтәліп Н.А., Ph.D, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Экология және химия кафедрасының доценті (Түркістан қ., Қазақстан)

Шалабаева Г.С., т.ғ.к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Экология және химия кафедрасының доцент м. а. (Түркістан қ., Қазақстан)

Бескемпірова Ә.М., «Білім берудегі Тарих және география» кафедрасының аға оқытушысы, Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Информация об авторах:

Анарбаев А.А., профессор, д.т.н. кафедры «Технологии неорганических и нефтехимических производств» Южно-Казахстанского университета им. М.Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Абдимуталип Н.А., Ph.D, доцент кафедры Экологии и химии Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Шалабаева Г.С., к.т.н., и.о. доцента кафедры Экологии и химии Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Бескемпірова А.М., старший преподаватель кафедры «История и география в образовании», Таразский региональный университет им. Мухаммеда Хайдар Дулати (г. Тараз, Казахстан)

Код МРНТИ 87.03.17

Д. Джармуханбетова¹, Е. Тулегенов², Л. Байкеева¹, *К. Басшова³¹Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан),²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, (Алматы қ., Қазақстан),³Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРГЕ БАЙЛАНЫСТЫ ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ҚАЛАЛЫҚ АУМАҚТАРЫНДАҒЫ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Мақалада Түркістан облысының урбанизацияланған аумақтарында климаттық факторлардың әсерінен болатын геофизикалық өзгерістер қарастырылады. Температураның жоғарылауы, жауын-шашынның төмендеуі және құрғақшылықтың жоғарылауы топырақ горизонттарының сусыздануына, шөгінді және жарылуына әкеледі. Жер асты суларының деңгейінің жоғарылауы және топырақтың физикалық қасиеттерінің өзгеруі оның жүк көтергіштігін төмендетеді. Қалалық инфрақұрылымда эрозиялық процестер, қайталама тұздану және деформациялар күшейеді. 2010–2024 жылдардағы мониторинг негізінде құрылыс нормаларын бейімдеу және өзгермелі климат жағдайында топырақтың жай-күйіне кешенді инженерлік бақылауды енгізу қажеттілігі анықталды. Нәтижелер климаттық өзгерістердің аймақ қалаларының геофизикалық жағдайына әсер ету дәрежесін бағалауға және бейімделу шараларын ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: Түркістан облысы, геофизика, климаттық өзгерістер, урбанизация, жер асты сулары, эрозия, қашықтықтан зондтау.

Study of geophysical changes in urban areas of Turkestan region due to climatic changes

Abstract. The article examines the geophysical changes occurring in the urbanized territories of the Turkestan region under the influence of climatic factors. Rising temperatures, decreased precipitation, and increased droughts cause dehydration, shrinkage, and cracking of soil horizons. An increase in the groundwater level and a change in the physical properties of the soil reduce its bearing capacity. Erosion processes, secondary salinization and deformations in urban infrastructure are increasing. Based on monitoring in 2010–2024. The necessity of adapting building regulations and introducing integrated engineering control over the condition of soils in a changing climate has been identified. The results obtained make it possible to assess the degree of influence of climate change on the geophysical state of the region's cities and propose adaptation measures.

Key words: Turkestan region, geophysics, climate change, urbanization, groundwater, erosion, remote sensing.

Изучение геофизических изменений городских территорий Туркестанской области ввиду климатических изменений

Аннотация. В статье рассматриваются геофизические изменения, происходящие на урбанизированных территориях Туркестанской области под воздействием климатических факторов. Повышение температуры, снижение осадков и учащение засух вызывают обезвоживание, усадку и растрескивание почвенных горизонтов. Увеличение уровня грунтовых вод и изменение физических свойств грунта снижают его несущую способность. Усиливаются эрозионные процессы, вторичное засоление и деформации в городской инфраструктуре. На основе мониторинга 2010–2024 гг. выявлена необходимость адаптации строительных норм и внедрения комплексного инженерного контроля над состоянием грунтов в условиях меняющегося климата. Полученные результаты позволяют оценить степень влияния климатических изменений на геофизическое состояние городов региона и предложить меры адаптации.

Ключевые слова: Туркестанская область, геофизика, климатические изменения, урбанизация, грунтовые воды, эрозия, дистанционное зондирование.

Кіріспе

Қазіргі климаттық өзгерістер урбанизацияланған аумақтардың геофизикалық параметрлеріне, әсіресе Қазақстан Республикасының Түркістан облысы да жататын құрғақ және жартылай құрғақ климаты бар өңірлерде барған сайын елеулі әсер етуде. Температураның жоғарылауы, жауын-шашын режимінің өзгеруі, экстремалды ауа-райы құбылыстарының жиілігінің артуы – осы факторлардың барлығы жер асты суларының деңгейінің өзгеруі, топырақтың шөгуі мен жарылуы, эрозия, жергілікті температура ауытқуларының қалыптасуы және қала құрылысының геотехникалық тұрақтылығының төмендеуі сияқты күрделі геофизикалық өзгерістерді тудырады.

Климаттың өзгеруі қалалық аумақтардың геофизикалық тұрақсыздығын күшейтеді. Түркістан облысы Қазақстанның климаттық өзгерістерге ең осал аймақтарының бірі ретінде температураның өсуін, жауын-шашынның азаюын және экстремалды ауа райы құбылыстарының жиілеуін бастан кешуде. Бұл зерттеудің мақсаты-аймақтың урбанизацияланған аумақтарындағы геофизикалық процестерге осы өзгерістердің әсерін талдау.

Қазақстанда бұл проблема өңірлік және қолданбалы деңгейде, әсіресе елдің оңтүстігіндегі шағын және орта қалалар контекстінде нашар зерттелген күйінде қалып отыр. Отандық зерттеулердің көпшілігі агроклиматтық жағдайлар мен жалпы Климаттық трендтердің мониторингіне бағытталған [1]. Сонымен қатар, климатология, геофизика

және урбанистиканы біріктіретін пәнаралық тәсілдер әлі жеткілікті дамымаған. Бұл қалалық инфрақұрылымды кешенді бағалау және жаңа климаттық шындыққа уақтылы бейімдеу мүмкіндіктерін шектейді.

Шетелдік зерттеулер, атап айтқанда, салыстырмалы климаттық жағдайлары бар елдерде – Түрікменстан, Өзбекстан, Иран, сондай-ақ Ресейдің оңтүстік аймақтарында урбанизацияланған аумақтардың Климаттық стресстерге жоғары осалдығын көрсетеді. Жүргізілген ғылыми жұмыстарында Смит және басқалар [2], сондай-ақ Джонс [3] климатқа байланысты деформациялық процестерге уақтылы жауап беру үшін құрғақ аймақтардың қалаларында жергілікті геофизикалық бақылаудың маңыздылығын атап өтті. Сонымен қатар, ЕО мен АҚШ елдерінде қалалық жоспарлауда қашықтықтан зондтау және георадарлық профильдеу әдістері белсенді қолданылады (мысалы, ЕО-дағы Коперник бағдарламасы), бұл қалалық геофизикалық негіздің деградациясының алғашқы белгілерін анықтауға мүмкіндік береді [4–5].

Осылайша, Түркістан облысындағы Климаттық трансформация жағдайындағы геофизикалық өзгерістерге өңірлік талдау жүргізу қажеттілігі ғылыми және практикалық негізделген болып табылады. Алынған деректер тұрақты қалалық ортаны жобалауда, нормативтік-құрылыс құжаттамасын жаңартуда және ұлттық және халықаралық Климаттық стратегиялар шеңберінде бейімделу шараларын әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін [6].

Әдістер/зерттеулер

Түркістан облысында климаттық факторлардың әсерінен топырақтың геоқұрылымдық өзгерістерін анықтау және талдау үшін далалық, зертханалық, қашықтықтан және аналитикалық әдістерді біріктіретін кешенді әдіснамалық тәсіл қолданылды. Далалық зерттеулер 2010–2024 жылдар кезеңінде Түркістан облысының негізгі аудандарында (Түркістан, Кентау, Жетісай, Сарыағаш) топырақ үлгілерін жүйелі іріктеуді, кейіннен физикалық-механикалық қасиеттерін: тығыздығын, ылғалдылығын, кеуектілігін, сүзу коэффициентін және жарықшақ түзілу параметрлерін айқындауды қамтыды.

Сонымен қатар, жер асты сулары деңгейінің маусымдық және жыл аралық динамикасын бақылау үшін ҚазҒЗСШИ және «Қазгидромет» РМК бақылау ұңғымалары мен автоматты станцияларының деректерін пайдалана отырып, гидрогеологиялық мониторинг жүргізілді. Инженерлік-геологиялық орталықтар негізінде жүргізілген зертханалық зерттеулер топырақтың электрофизикалық және химиялық сипаттамаларын, соның ішінде меншікті қарсылықты, тұздың құрамын және суды ұстау қабілетін нақтылауға мүмкіндік берді. Қашықтықтан зондтау әдістерін (спутниктік кескіндерді талдауды қоса) және геоақпараттық жүйелерді (ArcGIS, QGIS) қолдана отырып, эрозия процестерін, шөгу аймақтарын және жер жамылғысы бұзылған аймақтарды кеңістіктік бейнелеу жүргізілді. Климаттық және техногендік факторларды сандық бағалау үшін көпжылдық метеорологиялық және топырақ деректері негізінде корреляциялық талдау және трендтік статистика әдістері пайдаланылды. Ретроспективті талдауды заманауи бақылаулармен біріктіру негізгі көрсеткіштердің тарихи және ағымдағы мәндерін салыстыру мүмкіндігін қамтамасыз етті, бұл топырақтың тозуының тұрақты тенденцияларын анықтауға және өзгермелі климат жағдайында инженерлік инфрақұрылым үшін жоғары тәуекел аймақтарын анықтауға мүмкіндік берді.

Қазгидромет деректері мен жаһандық климаттық модельдер негізінде Түркістан облысында 1980–2024 жылдар кезеңінде орташа жылдық температура 1,5–2 °C-қа көтерілгені атап өтілді [7]. Сонымен қатар, топырақ пен жер асты суларының геофизикалық жағдайына тікелей әсер ететін қатты ыстық, нөсер жаңбыр және шаңды дауыл кезеңдері бар (кесте 1).

Түркістан облысын қоса алғанда, Оңтүстік Қазақстандағы климаттық өзгерістер топырақтың геоструктурасына барған сайын айқын әсер етуде. Климаттың негізгі факторлары-орташа жылдық және маусымдық температураның өсуі, жауын-шашынның азаюы, құрғақ кезеңдердің жоғарылауы және температураның шектен тыс ауытқулары-топырақтың жоғарғы және орта горизонттарының тұрақтылығының бұзылуына ықпал етеді.

Соңғы жылдары 35 °C-тан асатын жазғы температураның жоғарылауы топырақтан ылғалдың қарқынды булануын тудырады, бұл оның сусыздануына және термиялық жарылуына әкеледі. Мұндай процестер әсіресе Түркістан, Кентау, Жетісай және Сарыағаш аудандарында кең таралған сазды және сазды топырақтарда байқалады. Топырақ ылғалдылығының төмендеуі жағдайында олардың шөгуі байқалады, бұл ғимараттар мен инженерлік құрылымдардың іргетастарының деформациясын тудыруы мүмкін.

Жауын-шашынның жылдық мөлшерін азайту (2020–2024 жылдары 200–220 мм-ге дейін), жауын-шашынның мезгіл-мезгіл бөлінбеуімен бірге ылғалдың жиналу балансын бұзады. Ылғалдың жетіспеушілігі Топырақтың су-физикалық қасиеттерінің деградациясына әкеледі-сүзу коэффициенті төмендейді, тығыздық жоғарылайды, өткізгіштік төмендейді. Бұл процестер Жер асты суларының деңгейін төмендету арқылы нашарлайды, бұл топырақтың механикалық тұрақтылығына және оның көтергіштігіне де әсер етеді.

Қысқа, бірақ қарқынды жауын-шашынның жоғарылауы жағдайында топырақ эрозиясының қаупі артады. Өсімдіктер бұзылған беткейлердегі және дренаждарға жақын

Кесте 1

Қазгидромет және халықаралық көздер деректері бойынша Түркістан облысының кеңейтілген климаттық көрсеткіштері

Table 1

Expanded climatic indicators of Turkestan region according to Kazhydromet and international sources

Таблица 1

Расширенные климатические показатели Туркестанской области по данным Казгидромета и международных источников

Жыл	Жылдық орташа температура (°C)	Жазда орташа температура (°C)	Қыста орташа температура (°C)	Жауын-шашынның жылдық мөлшері (мм)	Құрғақ күндер саны	Қалыпты емес ыстығы бар күндер саны (> 35 °C)
1980	12.3	26.5	-1.2	280	45	5
1990	12.7	27.1	-0.6	265	52	8
2000	13.1	27.8	0.2	250	58	12
2010	13.6	28.3	0.7	230	63	17
2020	14.2	29.1	1.5	215	68	22
2024	14.5	29.5	1.8	205	72	25

Кесте 2

Жер асты сулары деңгейінің динамикасы

Table 2

Dynamics of the groundwater level

Таблица 2

Динамика уровня грунтовых вод

Жыл	Жер асты суларының орташа деңгейі, м (бетінен)	2010 жылмен салыстырғанда өзгеріс, м	Көрсеткіштер
2010	5.8	0.0	Базалық деңгей
2014	5.3	-0.5	Суарудың артуы, буланудың өсуі
2018	4.9	-0.9	Суару каналдарының құрылысы
2020	4.3	-1.5	Қыс пен көктем әдеттен тыс ылғалды
2022	4.0	-1.8	Сумен жабдықтау жүйесінен ағып кету, әлсіз дренаж
2024	3.6	-2.2	Бірқатар аудандарда тұрақты су басу

жерлер әсіресе осал. Нәтижесінде жер үсті ағыны күшейеді, қарашірік горизонттары жуылады, төменгі жыныстар ашылады, жыралар мен микрорельефтік деформациялар тез қалыптасады.

Құрғақ климатта және жоғары температурада қайталама тұздану және тұздану процестері күшейеді, әсіресе дренаж жеткіліксіз болған жағдайда. Бұл топырақтың химиялық құрылымын өзгертеді, оның агрофизикалық қасиеттерін нашарлатады, сілтілігін арттырады, бұл құрылыс нысандарының тұрақтылығына да әсер етуі мүмкін.

Гидротермиялық режимнің өзгеруі жоғарғы горизонттардың тығыздалуына және олардың қайта бөлінуіне әкеледі. Қала құрылысы жағдайында бұл жергілікті шөгулермен, инженерлік желілердің деформациясымен және жол жабындарының бұзылуымен бірге жүруі мүмкін. Бұл әсіресе тұрақты геотехникалық мониторинг жүргізілмейтін қала маңындағы аймақтарға тән.

Қазақстанның оңтүстігіндегі топырақ массивтерінің геоструктурасы қазіргі климат жағдайында айтарлықтай өзгерістерге ұшырайды. Бұл кешенді мониторингті, тұрақты инженерлік-геологиялық ізденістерді енгізуді және жаңа климаттық шындықтарды ескере отырып, құрылыс нормаларын қайта қарауды талап етеді.

Негізгі геофизикалық өзгерістер. Бірқатар урбанизацияланған аймақтар жер асты суларының жергілікті көтерілуін, әсіресе гидротехникалық қондырғылар мен нашар құрғатылған аймақтардың жанында байқады. Бұл жауын-шашынның таралуының өзгеруіне және қалалық топырақтың тығыздалуына байланысты.

2010–2024 жылдары Түркістан облысында (Түркістан, Сарыағаш, Жетісай, Кентау қалалары) жүргізілген далалық және қашықтықтан бақылау шеңберінде (кесте 2) климаттық факторлардың және антропогендік жүктеменің әсерінен туындаған мынадай негізгі геофизикалық өзгерістер тіркелді [8].

Бұл өзгерістердің салдары [9]:

- Жертөле бөлмелерін су басу;
- Топырақтың ылғалдылығын арттыру және олардың көтергіштігін жоғалту;
- Булану кезінде беткі қабаттағы тұз концентрациясының өсуі (қайталама тұздану) (кесте 3).

Кесте 3

Топырақтың геофизикалық сипаттамаларының өзгеруі

Table 3

Changes in the geophysical characteristics of the soil

Таблица 3

Изменения геофизических характеристик грунта

Көрсеткіш	2010 ж.	2024 ж.	Өзгерістер (%)
Топырақтың тығыздығы (г/см ³)	1.57	1.45	-7.6
Топырақтың ылғалдылығы (%)	9.2	13.4	+45.6
Кеуектілік (%)	38.0	41.2	+8.4
Сүзу коэффициенті (м/тәулік)	0.58	0.39	-32.7
Меншікті кедергі (Ом * м)	28	19	-32.1

Түркістан облысында жер асты суларының деңгейінің жоғарылауы және топырақтың физика-механикалық сипаттамаларының өзгеруі климаттық және техногендік өзгерістердің тікелей салдары болып табылады.

– Тығыздық пен сүзудің төмендеуі батпақтану мен механикалық беріктіктің жоғалуын көрсетеді;

– Меншікті кедергінің төмендеуі топырақтың ылғалмен және тұз иондарымен қанығуымен байланысты электр өткізгіштігінің жоғарылауын көрсетеді;

– Мұндай өзгерістер Іргетастардың тұрақсыздығына, шөгулерге, ауысуларға және қалалық инфрақұрылымдағы төтенше жағдайларға әкелуі мүмкін.

Бұл деректер қала құрылысы стандарттарын кешенді бейімдеу, қала құрылысы аймағында инженерлік мониторинг пен суды реттеуді күшейту қажеттілігін растайды.

Сазды топырақтары бар аумақтарда (мысалы, Түркістан қаласында) беттің белсенді шөгу және жарылу аймақтары анықталды. Бұл ғимараттар мен инженерлік құрылыстардың тұрақтылығына әсер етеді.

2020–2024 жылдар кезеңінде жүргізілген инженерлік-геологиялық және мониторингтік бақылаулар шеңберінде Түркістан облысының аумағында (Түркістан, Жетісай, Сарыағаш аудандары) жоғарғы топырақ горизонттарының шөгуі мен жарылуының белсенді процестері тіркелді (кесте 4). Бұл процестер әсіресе ылғалдылықтың маусымдық ауытқуларында жоғары шөгу деформациясы бар сазды және лессоидты жыныстар басым жерлерде айқын көрінеді [10].

Кесте 4

Шөгу және жарықтар туралы эксперименттік мәліметтер (2020–2024 жж.)

Table 4
Experimental data on shrinkage and cracking (2020–2024)

Таблица 4

Экспериментальные данные по усадке и трещинообразованию (2020–2024 гг.)

Көрсеткіш	Көктем 2020	Жаз 2020	Жаз 2020	Жаз 2024
Жарықтардың орташа тереңдігі, см	8–12	25–35	32–38	36–42
Жарықтардың орташа ені, см	0.5–1	2–4	4–6	5–8
Жоғарғы қабаттың ылғалдылығын жоғалту, %	—	9.1	10.8	12.3
Топырақтың орташа шөгуі, мм/жыл	—	5.8	7.2	8.9
Ауа температурасы, °C (орташа)	+19.5	+35.2	+36.8	+37.3
Жауын-шашын, мм (сәуір-тамыз)	93	47	39	32

Алынған деректерді талдау мыналарды көрсетті:

– Жарықтардың тереңдігі мен ені жаз мезгілінде, әсіресе жауын-шашынның төмендеуі мен температураның жоғарылауымен айтарлықтай артады. Сонымен, 2024 жылы жарықтардың тереңдігі 40 см-ге, ені 8 см-ге дейін жетті.

– Жаз айларында топырақтың жоғарғы қабатындағы ылғалдылықтың жоғалуы 12–13% деңгейінде тіркелді, бұл саздақтардың құрылымдық тұрақтылығының маңызды шегі.

– Жауын-шашынның төмендеуі мен шөгудің өсуі арасында нақты корреляция бар: 2020–2024 жылдардағы ылғалдың төмендеуімен орташа жылдық шөгу 5.8-ден 8.9 мм-ге дейін өсті.

– Жоғары температура мен төмен ылғалдылық топырақ массивінің жүк көтергіштігін бұзатын және аз қабатты құрылыстар мен желілік инфрақұрылым объектілерінің (құбырлар, жолдар, электр желілері) бұзылу

қаупін арттыратын өтпелі жарықтардың дамуына ықпал етеді.

Нәтижелерді талқылау

Түркістан облысының топырақтарында шөгу мен жарықтың пайда болуының геофизикалық процестері тұрақты сипатқа ие болады және климаттық факторлардың өзгеруіне байланысты: температураның өсуі және жауын-шашын тапшылығы. Бұл өзгерістерге шамадан тыс тығыздалған және бұзылған топырақ құрылымдары бар урбанизацияланған аймақтар ең сезімтал. Профилактикалық инженерлік шешімдерді енгізу қажет: дренаж құрылғылары, іргетас аймағын ылғалдандыру, құрылыс нормаларын жаңа климаттық параметрлерге бейімдеу.

Кентау аудандарында және Сайрам-Өгем жотасының етегінде эрозиялық белсенділіктің өсуі байқалады-шатқалдардың пайда болуы, топырақтың жоғарғы қабатын жуу, әсіресе қатты жауын-шашыннан кейін. Топырақ эрозиясы-Оңтүстік Қазақстандағы жердің тозуының аса маңызды процестерінің бірі [11]. Түркістан облысы жағдайында эрозия процестері нәтижесінде күшейеді (кесте 5):

- жауын-шашын құрылымының өзгеруі,
- температура мен буланудың жоғарылауы,
- урбанизация және егістік егіншілік салдарынан өсімдік жамылғысының қысқаруы.

Кесте 5

Су және жел эрозиясы бойынша эксперименттік деректер (Жетісай және Сарыағаш аудандары, 2019–2024 жж.)

Table 5

Experimental data on water and wind erosion (Zhetysai and Saryagash districts, 2019–2024)

Таблица 5

Экспериментальные данные по водной и ветровой эрозии (Жетысайский и Сарыагаишский районы, 2019–2024 гг.)

Көрсеткіш	2019	2020	2022	2024
Құнарлы қабаттың жылдық жоғалуы, т/га	4.1	5.3	6.7	7.9
Жауын-шашынның жиілігі (> 15 мм/сағ), күн/жыл	6	9	13	16
Құрғақ маусымда желдің орташа жылдамдығы, м/с	4.1	4.3	4.7	5.2
Жел жотасының орташа биіктігі, см	3.2	4.0	5.1	6.4
Топырақ тығыздау индексі (SPC), шарттар. бірлік	0.65	0.62	0.58	0.53

Топырақтың жоғалуы жыл сайын өсіп, бес жылда екі есеге жуық өсті. Көктемгі-жазғы кезеңдегі су эрозиясы жоғары қарқынды нөсер жаңбырымен байланысты негізгі үлес қосады. Жауын – шашынның жиілігінің өсуі уақытша

су ағындарының, промоутерлердің және сайлардың пайда болуына әкеледі, әсіресе көлбеу 3-5°-тан жоғары аудандарда. Жел эрозиясы негізінен көктем мен күз мезгілдерінде, әсіресе өңделетін және қорғалмаған жерлерде (жалаңаш өрістер, жол жиектері, құрылыс алаңдары) байқалады. SPC (soil protection coefficient) төмендеуі топырақ жамылғысының тозуы, жыртылуы, сондай-ақ жеткіліксіз бақылау және өсімдік қорғаныс жолақтары салдарынан эрозияға төзімділіктің жоғалуын көрсетеді (1 сурет). Осы құбылыстардың нәтижесінде пайда болған эрозияның салдары:

- гумустың жоғалуы (жылына 1,5 см-ге дейін);
- қарқынды эрозия аймақтарында өнімділіктің 15–20% төмендеуі;
- суару каналдары мен су қоймаларының шөгінділермен ластануы;
- қалалық аймақтағы жолдардың, тротуарлардың және шағын сәулет нысандарының зақымдануы.



Сурет 1. 2019–2024 жж. Топырақ эрозиясы мен нөсер жауын арасындағы байланыс.

Figure 1. 2019–2024. The relationship between soil erosion and heavy rains.

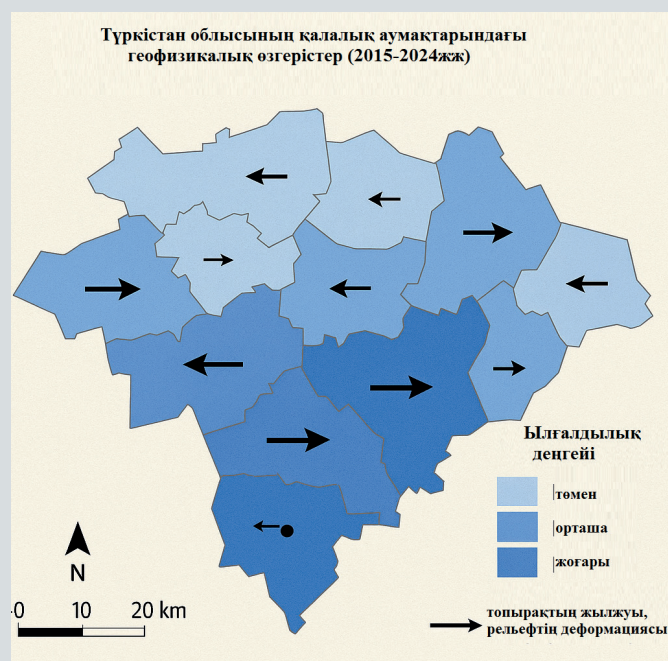
Рис. 1. 2019–2024 гг. Связь между эрозией почвы и проливными дождями.

Бұл график 2019 жылдан 2024 жылға дейін Түркістан облысында топырақ шығынының (т/га) өсуін және жауын-шашын жиілігінің (> 15 мм/сағ) өсуін көрсетеді. Айқын корреляция көрінеді: жауын-шашын неғұрлым көп болса, эрозия шығыны соғұрлым жоғары болады.

Аймақтағы эрозия процестері Климаттық жағдайлардың өзгеруіне және жерді дұрыс пайдаланбауға байланысты күшейеді. Жағдай шұғыл шараларды қажет етеді: эрозияға қарсы Ауыл шаруашылығы тәжірибелерін енгізу (контурлық жырту, қорғаныс жолақтарын отырғызу); қашықтықтан зондтауды қолдана отырып, топырақ жағдайын бақылау; қалалық ортада нөсер инфрақұрылымын дамыту.

Түркістан облысының урбанизацияланған аймақтары «жылу аралдары» әсерін көрсетеді-қоршаған ауылдық жерлерден 2–3 °C-тан асатын температуралық ауытқулар. Бұл материалдардың термиялық кеңеюіне және инфрақұрылымның деформациясына ықпал етеді.

Температура өзгерістері, топырақ пен ылғалдылық қозғалыстарының кеңістіктік таралу карталары салынды, олар өзгеру динамикасын айқын көрсетеді (2 сурет).



Сурет 2. Түркістан облысы бойынша 2015–2024 жж аралығындағы геофизикалық өзгерістер.
Figure 2. Geophysical changes in the Turkestan region in 2015–2024.

Рис. 2. Геофизические изменения в Туркестанской области за 2015–2024 гг.

Тарихи деректермен салыстыру процестердің өсіп келе жатқан сипатын растайды. Зерттеу барысында температураның тұрақты өзгерістерін уақыт бойынша анықтауға мүмкіндік беретін көпжылдық мәліметтер негізінде температуралық трендтер құрылды. Трендтерді талдау орташа жылдық және маусымдық температураның біртіндеп жоғарылау тенденциясын көрсетті, бұл зерттелетін аймақтағы маңызды климаттық өзгерістерді көрсетеді.

Сонымен қатар, топырақ жамылғысының күйіндегі жергілікті өзгерістерді көрсететін топырақ қозғалыстарының кеңістіктік таралу карталары жасалды. Бұл карталар температура мен ылғалдылық жағдайларының динамикасына байланысты топырақтың қозғалғыштығы жоғары аймақтарды елестетуге мүмкіндік берді. Сол сияқты, топырақ ылғалдылығының карталары табиғи процестерді де, антропогендік әсерді де көрсететін аумақтың әртүрлі нүктелеріндегі топырақ ылғалдылығының өзгеруін көрсетеді.

Алынған деректерді Тарихи мұрағаттармен салыстыру байқалған процестердің өсіп келе жатқанын растады: температура көрсеткіштері жоғарылайды, ал топырақ ылғалдылығының қозғалысы мен өзгеруі айқынырақ болады және барлық үлкен аймақтарды қамтиды. Топырақ жағдайлары мен климаттық параметрлердің динамикасын талдауға мұндай кешенді тәсіл аймақтың геотехникалық және экологиялық бағалауы үшін маңызды болып табылатын ағымдағы және болжамды өзгерістер туралы негізделген қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

1. Климаттық өзгерістер Түркістан облысының қалалық аумақтарының геофизикасына айтарлықтай әсер етеді.

2. Негізгі өзгерістер-жер асты суларының деңгейінің көтерілуі, топырақтың шөгуі және жарылуы, эрозия және жергілікті температура ауытқулары.

3. Жаңа климаттық шындықтарды ескере отырып, тұрақты мониторинг, бейімделу шараларын әзірлеу және инфрақұрылымды жаңғырту қажет.

Басқа елдерде, мысалы, Ресейде (Қазан қ.), Түрікменстанда (Ашхабад қ.) және Қазақстанда (Алматы қ.) қалалық ортаны климаттық өзгерістерге бейімдеу бойынша жобалар іске асырылуда: көгалдандыру, дренаждық жүйелер, тұрақты құрылыс материалдары. Бұл шаралар Түркістан облысының қалаларында да қолдануға ұсынылады.

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде Түркістан облысының қалалық аудандарының аумағында ағымдағы климаттық өзгерістерге тікелей байланысты елеулі геофизикалық өзгерістер анықталды. Температура тенденцияларын, топырақ ылғалдылығын және топырақ қозғалысын талдау температураның

жоғарылауына және гидрологиялық режимнің өзгеруіне тұрақты тенденцияны көрсетті, бұл тозу процестерінің жоғарылауына және жер жамылғысының тұрақсыздығына әкеледі. Бұл өзгерістердің кеңістіктік таралуы инфрақұрылым мен тұрғын үй құрылыстарына ықтимал қауіп төндіретін топырақтың қозғалғыштығы жоғары аймақтарды анықтады. Қазіргі заманғы деректерді Тарихи мұрағаттармен салыстыру климаттық-геофизикалық процестердің өсіп келе жатқан сипатын растайды, бұл кешенді мониторинг пен бейімделу шараларын әзірлеуді талап етеді. Нәтижелер эрозияның алдын алу, топырақты нығайту және су ресурстарын ұтымды пайдалану жөніндегі іс-шараларды қамтитын қалалық аумақтарды орнықты дамытудың интеграцияланған стратегияларын енгізу қажеттігін көрсетеді. Осылайша, зерттеу геофизикалық өзгерістердің теріс әсерін азайту және аймақтың экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қала құрылысын жоспарлау мен аумақты басқарудағы Климаттық факторларды ескерудің маңыздылығын көрсетеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жумабеков А.К., Баймурзаев Т.Р. Топырақ жағдайын бақылаудағы геофизикалық әдістер: Алматы: ҚазҰУ, 2021. 112 б. (орыс тілінде)
2. Смит Д., Хайттауэр Л. Қалалық геофизикалық осалдықтың климаттық күйзеліс жағдайындағы көрінісі // Қоршаған орта геоғылымы. 2020. Т. 28. № 4. Б. 221–236 (ағылшын тілінде)
3. Джонс Э., Пател Р. Қалалық ортадағы климат әсерінен топырақтың тозуы: механизмдер және алдын алу // Қоршаған орта ғылымы және саясаты. 2021. Т. 120. Б. 45–58 (ағылшын тілінде)
4. Климаттың өзгеруі жөніндегі Үкіметаралық топ. Климаттың өзгеруі 2021: Әсерлері, бейімделуі және осалдықтары: Кембридж: Кембридж университетінің баспасы, 2022. 367 б. (ағылшын тілінде)
5. Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO). Дүниежүзілік топырақ тұздану картасы (GSALmap) нұсқасы 1.0: Рим: FAO, 2021. 56 б. (ағылшын тілінде)
6. Мартинез Г., Томпсон Д. Климаттың өзгермелі жағдайында шөлейтті аймақтардағы қалалық жерасты суларының динамикасы // Гидрология және жер жүйесі ғылымдары. 2023. Т. 27. № 2. Б. 1101–1115 (ағылшын тілінде)
7. РГП «Казгидромет». Түркістан облысы бойынша гидрометеорологиялық деректер (1980–2024 жж.): Нұр-Сұлтан, 2024 (орыс тілінде)
8. ҚазҒЗСШИ. Түркістан облысындағы жерасты сулары деңгейінің гидрогеологиялық мониторингі (2010–2023 жж.): Алматы, 2023. 148 б. (орыс тілінде)
9. ТүркестанГеоЖоба ЖШС. Түркістан, Кентау, Жетісай қалаларындағы инженерлік-геологиялық зерттеулер: техникалық есеп, серия ГПИ-1027/22, Түркістан, 2022. 96 б. (орыс тілінде)
10. Ержанова А.Т., Мукашева А.К. Оңтүстік Қазақстан топырағының климаттық өзгерістер жағдайындағы геофизикалық сипаттамасы // ҚазҰТЗУ Хабаршысы. 2021. № 3 (137). Б. 45–51 (орыс тілінде)
11. Турсунов М.Б., Шарипов Д.С. Суландырылған аймақтарда ғимараттардың тұрақтылығына жерасты суларының көтерілуінің әсері // Қазақстан геотехникасы. 2022. № 2 (14). Б. 33–41 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Jumabekov A.K., Baimurzayev T.R. Geofizicheskie metody v monitoringe pochvennogo sostoyaniya [Geophysical methods in soil condition monitoring], Almaty: KazNU, 2021. 112 p. (in Russian)
2. Smith D., Hightower L. Manifestation of urban geophysical vulnerability under climate stress // Ecological Geoscience. 2020. V. 28. No. 4. 221–236 pp. (in English)
3. Jones E., Patel R. Soil loss in urban environments under climate impact: mechanisms and prevention // Environmental Science and Policy. 2021. V. 120. 45–58 pp. (in English)

4. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability*: Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 367 p. (in English)
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Global Soil Salinity Map (GSALmap) version 1.0*: Rome: FAO, 2021. 56 p. (in English)
6. Martinez G., Thompson D. Urban groundwater dynamics in arid regions under a changing climate // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2023. V. 27. No. 2. 1101–1115 pp. (in English)
7. RGP «Kazgidromet». *Gidrometeorologicheskie dannye po Turkestanskoi oblasti [RSE «Kazhydromet». Hydrometeorological data for Turkestan Region (1980–2024)]*, Nur-Sultan, 2024 (in Russian)
8. KazNIIVKh. *Gidrogeologicheskii monitoring urovnya gruntovykh vod v Turkestanskoi oblasti (2010–2023 gg.) [KazSRWH. Hydrogeological monitoring of groundwater levels in Turkestan Region (2010–2023)]*, Almaty: Kazakhskii nauchno-issledovatel'skii institut vodnogo khozyaistva, 2023. 148 p. (in Russian)
9. TurkestanGeoProekt. *Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya po gorodskoi zastroiike [TurkestanGeoProject. Engineering-geological investigations for urban development]*, Turkestan, Kentau, Zhetysai: Tech. report, series GPI-1027/22, Turkestan, 2022. 96 p. (in Russian)
10. Erzhanova A.T., Mukasheva A.K. *Geofizicheskaya kharakteristika gruntov yuzhnogo Kazakhstana v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii [Geophysical characteristics of soils in southern Kazakhstan under climate change conditions]*, Vestnik KazNTU [Bulletin of KazNTU]. 2021. No. 3 (137). 45–51 pp. (in Russian)
11. Tursunov M.B., Sharipov D.S. *Vliyanie pod"ema urovnya gruntovykh vod na ustoichivost' zdanii v usloviyakh oroshaemykh territorii [Impact of rising groundwater levels on building stability in irrigated areas]*, Geotekhnika Kazakhstana [Geotechnics of Kazakhstan]. 2022. No. 2 (14). P. 33–41 pp. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жумабеков А.К., Баймурзаев Т.Р. *Геофизические методы в мониторинге почвенного состояния*: Алматы: КазНУ, 2021. 112 с. (на русском языке)
2. Смит Д., Хайттауэр Л. *Проявление городской геофизической уязвимости при климатическом стрессе // Экологическая геонаука*. 2020. Т. 28. № 4. С. 221–236 (на английском языке)
3. Джонс Э., Пател Р. *Потеря почвы в городской среде под воздействием климата: механизмы и предотвращение // Экологическая наука и политика*. 2021. Т. 120. С. 45–58 (на английском языке)
4. *Межправительственная панель по изменению климата. Изменение климата 2021: Влияния, адаптация и уязвимость*: Кембридж: Издательство Кембриджского университета, 2022. 367 с. (на английском языке)
5. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). *Глобальная карта солености почв (GSALmap) версия 1.0*: Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2021. 56 с. (на английском языке)
6. Мартинез Г., Томпсон Д. *Динамика городских подземных вод в аридных регионах в условиях изменчивого климата // Гидрология и науки о земной системе*. 2023. Т. 27. № 2. С. 1101–1115 (на английском языке)
7. РГП «Казгидромет». *Гидрометеорологические данные по Туркестанской области (1980–2024 гг.)*: Нур-Султан, 2024 (на русском языке)
8. КазНИИВХ. *Гидрогеологический мониторинг уровня грунтовых вод в Туркестанской области (2010–2023 гг.)*: Алматы: Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, 2023. 148 с. (на русском языке)
9. ТуркестанГеоПроект. *Инженерно-геологические исследования по городской застройке*: Туркестан, Кентау, Жетысай: техн. отчет, серия ГПИ-1027/22, Туркестан, 2022, 96 с. (на русском языке)
10. Ержанова А.Т., Мукашева А.К. *Геофизическая характеристика грунтов южного Казахстана в условиях климатических изменений // Вестник КазНТУ*. 2021. № 3 (137). С. 45–51 (на русском языке)
11. Турсунов М.Б., Шарипов Д.С. *Влияние подъема уровня грунтовых вод на устойчивость зданий в условиях орошаемых территорий // Геотехника Казахстана*. 2022. № 2 (14). С. 33–41 (на русском языке)

Information about the authors:

Jarmukhanbetova D., Senior Lecturer of the Department of History and Geography in Education, Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan), Dana_baiserik@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-1430-1079>

Baikeyeva L.T., Senior Lecturer of the Department of History and Geography in Education, Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan), Umka_b.l@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-1222-8430>

Tulegenov E., Ph.D, Acting assoc.Professor, Head of the Department of Geography, Kazakh National Women's Pedagogical University, (Almaty, Kazakhstan), e.tulegenov@gyzpu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-4586-9642>

Baeshova K., teacher of the Department of Ecology and Chemistry Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), kulaikhan.bayeshova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0000-4631-3801>

Авторлар туралы мәліметтер:

Джармұханбетова Д., «Білім берудегі Тарих және география» кафедрасының аға оқытушысы, Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Байкеева Л.Т., «Білім берудегі Тарих және география» кафедрасының аға оқытушысы, Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Түлегенов Е., Ph.D, м. а. ассоц.профессор, меңгеруші, каф. «География», Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Баешова К., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Экология және химия кафедрасының оқытушысы (Түркістан қ., Қазақстан)

Информация об авторах:

Джармұханбетова Д., ст. преподаватель кафедры «История и география в образовании», Таразский региональный университет им. Мухаммеда Хайдар Дулати (г. Тараз, Казахстан)

Байкеева Л.Т., ст. преподаватель кафедры «История и география в образовании», Таразский региональный университет им. Мухаммеда Хайдар Дулати (г. Тараз, Казахстан)

Түлегенов Е., Ph.D, и. о. ассоц. профессор, зав. каф. «География», Казахский национальный женский педагогический университет (г. Алматы, Казахстан)

Баешова К., преподаватель кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)



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

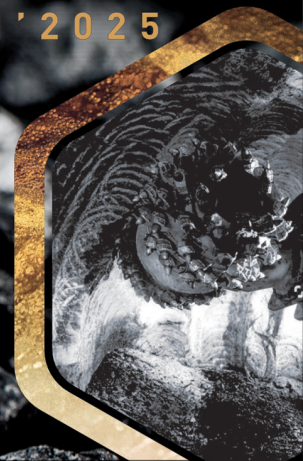
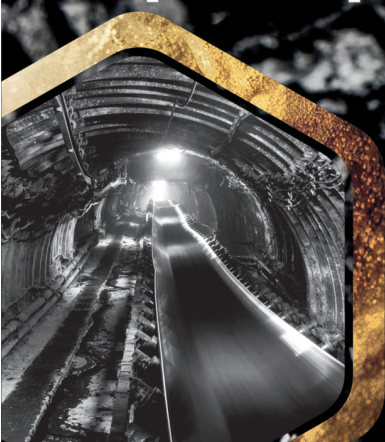


Mining Week

KAZAKHSTAN' 2025

24-26.06.2025

[КАРАГАНДА] [КАЗАХСТАН]



TOO «TNT EXPO»

+7 (727) 344 00 63

mintek@tntexpo.kz

mining.week.kazakhstan



MININGWEEK.KZ

Код МРНТИ 52.47.17:52.01.77

*Ж.Н. Алишева, О.С. Курманбаев, А. Кумар

Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Аннотация. Компьютерное моделирование в нефтедобыче способствует повышению производительности, эффективности и разработке инновационных методов увеличения нефтеотдачи. Важную роль в сырьевой базе нефтяной отрасли Казахстана и других стран играют запасы тяжелых и битумных нефтей. Этот вид углеводородов с потенциалом в более чем 14 миллиардов тонн добычи ежегодно привлекает внимание нефтяных компаний. Среди перспективных методов воздействия выделяются физические поля: магнитные, ультразвуковые, вибрационные. Они разрушают структуры нефтяных ассоциатов, снижая вязкость нефти. Математическое моделирование и компьютерные расчеты подтвердили эффективность ультразвукового воздействия на флюидосодержащие системы, подтвердив данные лабораторных исследований.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, электромагнитное воздействие, нефть, ультразвук, научные вычисления, сетка, поровое пространство, нефтяные ассоциаты.

Ғылыми және қолданбалы есептерді шешу барысында компьютерлік модельдеудің кейбір ерекшеліктері

Андатпа. Мұнай өндіруде компьютерлік модельдеу өнімділікті, тиімділікті арттыруға және мұнай қайтарымын көбейтудің инновациялық әдістерін әзірлеуге ықпал етеді. Қазақстан мен басқа да елдердің мұнай өнеркәсібінің шикізат базасында ауыр және битумды мұнай қоры маңызды рөл атқарады. Жыл сайын өндірілетін 14 миллиард тоннадан астам әлеуеті бар бұл көмірсутек түрі мұнай компанияларының назарын аударуда. Әсер етудің болашағы зор әдістерінің арасында магниттік, ультрадыбыстық, вибрациялық сияқты физикалық өрістер ерекшеленеді. Олар мұнай ассоциаттарының құрылымын бұзып, оның тұтқырлығын төмендетеді. Математикалық модельдеу мен компьютерлік есептеулер сұйықтықпен қаныққан жүйелерге ультрадыбыстық әсер етудің тиімділігін және зертханалық зерттеулердің нәтижелерін растайды.

Түйінді сөздер: компьютерлік модельдеу, электромагниттік әсер, мұнай, ультрадыбыстық әсер ету, ғылыми есептеу, тор, кеуекті кеңістік, мұнай ассоциаттары.

Some features of computer simulation in solving scientific and applied problems

Abstract. Computer modeling in oil production enhances productivity, efficiency, and the development of innovative methods to increase oil recovery. Heavy and bituminous oil reserves play a significant role in the resource base of Kazakhstan's oil industry and other countries. This type of hydrocarbon, with a production potential exceeding 14 billion tons annually, continues to attract the attention of oil companies. Among the promising methods of influence are physical fields such as magnetic, ultrasonic, and vibrational fields. These methods break down the structures of oil associates, reducing oil viscosity. Mathematical modeling and computer simulations have confirmed the effectiveness of ultrasonic impact on fluid-containing systems, supporting the findings of laboratory studies.

Key words: computer modeling, electromagnetic influence, oil, ultrasound, scientific computing, mesh, the pore space, oil associates.

Введение

При постановке экспериментальных задач используют физическое и компьютерное моделирование. Физическое моделирование в многофакторном эксперименте позволяет прогнозировать ожидаемый результат путем исключения второстепенных факторов на конечный результат. При компьютерном (математическом) моделировании чаще всего используют графическое представление получаемых данных в 2D и 3D форматах для наглядности или для проведения операций вычисления в алгоритме процессов цифровизации.

В нашем случае для оценки влияния состояния межфазовой поверхности использовали внешнее воздействие импульсными электромагнитными колебаниями на фиксированной частоте разложения воды (42,8 кГц – частота Пухарича) [1]. В качестве измеряемого параметра использовали замеры электросопротивления между статическими выводами реактора изменением структуры подвергаемой воздействию нефтяной пленки. Полученные результаты свидетельствовали о том, что появление активного водорода на границе раздела меняет химсостав поверхностного слоя и, соответственно, электросопротивление между измерительными электродами в зависимости от продолжительности внешнего воздействия. Этот экспериментальный факт удобно использовать для компьютерного (численного) моделирования при графическом представлении полученных результатов.

На первом этапе компьютерного моделирования необходимо представить информацию о начальных условиях эксперимента, т.к. это предопределяет величину констант

в математической модели. Начальными условиями в данной ситуации являются:

- постоянство размеров экспериментального реактора;
- постоянство исходной температуры (эксперимент проводили при комнатной температуре).

На втором этапе численного моделирования возникает необходимость выбора измеряемых параметров, пределы их колебаний около положения равновесия.

Следующим этапом создания компьютерной модели является создание алгоритма (последовательности вычислений) для получения ожидаемого результата.

Использование ультразвукового воздействия совместно с другими методами интенсификации добычи нефти может значительно повысить продуктивность низкодебитных скважин. Однако для успешной реализации этой технологии необходимо провести комплексные научно-исследовательские работы и опытно-промышленные испытания. В настоящее время эта методика обещает быть перспективной, но требует дальнейшего изучения и тестирования на практике. Ультразвуковая обработка нефтей и нефтяных фракций позволяет эффективно влиять на их реологические свойства и фракционный состав путем гидрирования.

Проведены расчеты взаимодействия ультразвука с жидкостью, находящейся в микротрещинах, капиллярах и порах призабойной зоны скважины. Исследование проведено для одномерной плоской ультразвуковой волны, длина которой существенно больше радиуса указанных каналов [1–5].

Моделирование воздействия ультразвука на углеводородные соединения необходимо для анализа изменений физико-химических характеристик нефти, прогнозирования исходов экспериментальных исследований и улучшения методов добычи, транспортировки и переработки нефти с использованием ультразвуковых технологий.

Материалы и методы

При создании модели ультразвукового влияния на нефть в программе COMSOL Multiphysics применяются акустические уравнения и уравнения Навье-Стокса для анализа потока жидкости. Важной частью модели является уравнение Гельмгольца, которое используется для моделирования распространения звуковых волн в жидкости:

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где p – давление;

c – скорость звука в среде.

Уравнение Навье-Стокса для описания движения жидкости под воздействием ультразвука:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \nabla v \right) = -\nabla p + \nabla \tau + f, \quad (2)$$

где ρ – плотность;

v – скорость;

p – давление;

τ – тензор напряжений;

f – внешняя сила.

Уравнение состояния для жидкости связывает давление (P), плотность (ρ) и температуру (T) и может быть представлено следующим образом:

$$P = P(\rho, T). \quad (3)$$

Эти уравнения могут быть дополнены граничными условиями, описывающими граничные условия на границах моделируемой области, и начальными условиями, описывающими начальные условия для переменных, таких как давление и скорость.

В моделировании распространения акустических волн в твердых материалах, таких как геологические пласты, используется уравнение упругости. Это уравнение включает параметры вязкости и теплопроводности для анализа вектора смещения U :

$$\rho_0 \partial_{tt}^2 U = \left[\rho_0 (c_l^2 - c_t^2) + \zeta_0 + \frac{\eta_0}{3} \right] \nabla \operatorname{div} U + (\rho_0 c_t^2 + \eta_0) \Delta U - \frac{E_\alpha}{3(1-2\sigma)} \nabla T. \quad (4)$$

и уравнения теплопроводности в твердом теле для температуры:

$$C_V \partial_t T + \frac{C_P - C_V}{\alpha} \partial_t \operatorname{div} U = \chi * \Delta T, \quad (5)$$

где ρ_0 – плотность материала;

c_l и c_t – скорости продольных и поперечных колебаний в твердом теле;

E и σ – упругие модули;

C_P и C_V – теплоемкости при постоянном давлении и объеме соответственно;

ζ_0 и η_0 – коэффициенты первой и второй вязкости;

χ – коэффициент теплопроводности;

α – коэффициент теплового расширения материала.

Если направление распространения акустической волны выбрать вдоль оси z , а источник излучения поместить в начало координат $z = 0$, то граничное условие для смещения U продольной волны будет представлено следующим равенством:

$$U(z = 0, t) = U_m \exp(-i\omega t), \quad (6)$$

где U_m – амплитуда смещения на выходе источника излучения;

ω – частота колебаний источника.

Когда акустическая волна достигает полости с жидкостью плотностью ρ , колебания стенок полости вызывают возмущения в жидкости со скоростью v . Для описания этих возмущений применяется система уравнений Навье-Стокса, включающая уравнение непрерывности [6–9]:

$$\partial_t \rho + \operatorname{div}(\rho v) = 0. \quad (7)$$

Другое представляет собой уравнение движения жидкости:

$$\partial_t v + (v \nabla) v - \mu \Delta v = -\nabla \frac{p}{\rho}, \quad (8)$$

где p – давление в жидкости;

μ – динамическая вязкость.

Для создания модели необходимо определить геометрию среды (нефти), задать уравнения и параметры для моделирования ультразвуковых волн, настроить граничные условия и запустить расчеты для анализа воздействия ультразвука на нефть. Для конкретного моделирования ультразвукового воздействия на нефть могут быть также учтены физические свойства нефти, такие как вязкость, плотность и скорость звука в нефти, которые могут быть включены в уравнения и расчеты.

Этапы моделирования:

– Определение геометрии и физических свойств. На этом этапе необходимо определить геометрию модели, включая размеры и форму реактора, а также физические свойства углеводородов и среды, в которой происходит процесс.

– Выбор уравнений моделирования. Для моделирования ультразвукового воздействия на углеводороды необходимо использовать уравнения Навье-Стокса, уравнения переноса тепла и уравнения акустики.

– Задание граничных условий. Граничные условия определяют поведение физических величин на границах модели. В данном случае необходимо задать граничные условия для давления, скорости и температуры.

– Решение задачи. На этом этапе COMSOL Multiphysics использует численные методы для решения системы уравнений, полученных на предыдущих этапах.

- Постобработка результатов. После решения задачи COMSOL Multiphysics позволяет визуализировать результаты расчетов в виде графиков, изображений и анимаций.

Для моделирования задаем следующие условия:

- Плотность нефти при нормальных условиях – это значение плотности нефти при стандартных условиях (обычно 20 °С и атмосферном давлении), которое используется для расчетов. Обычно это задается в килограммах на кубический метр (kg/m³);

- Динамическая вязкость нефти – это мера сопротивления нефти деформации при движении. Это значение указывается в программе COMSOL Multiphysics и обычно измеряется в Па·с или миллипаскалях (мПа·с);

- Модуль Юнга – это характеристика упругости материала, которая описывает его способность деформироваться под действием напряжения. Модуль Юнга измеряется в Па или гигапаскалях (ГПа);

- Коэффициент Пуассона – это безразмерная величина, которая характеризует поперечное сжатие или растяжение материала при его продольном нагружении. Обычно он задается безразмерным числом между -1 и 0,5.

В результате моделирования воздействия ультразвука на нефть на поровом уровне с использованием COMSOL Multiphysics и реальных данных были установлены следующие параметры:

- Плотность нефти: $\rho = 850$ кг/м³;

- Динамическая вязкость нефти: $\mu = 0,025$ Па·с.

Изучалось влияние ультразвука на движение жидкости в поровом пространстве размерами 640 * 320 мкм. Сетка моделируемого порового пространства показана на рис. 1.

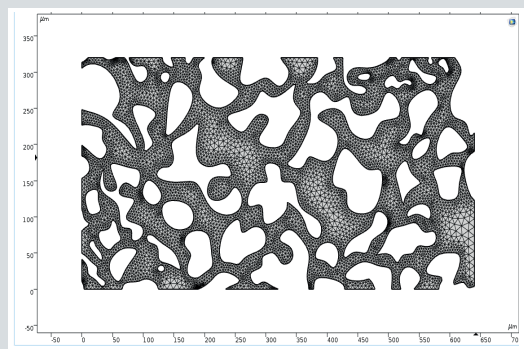


Рис. 1. Сетка моделируемого порового пространства.

Сурет 1. Модельдендірілген поралық кеңістіктің торы.

Figure 1. Mesh of the simulated pore space.

Эмпирическая зависимость для расчета изменения динамической вязкости μ_w в результате воздействия давления волны p_w имеет следующий вид [5]:

$$\mu_w = \mu_0((0,80498 - 0,013468) \cdot (\ln(p_w + 5.145 \cdot 10^{-7}))), \quad (9)$$

где μ_0 – начальная динамическая вязкость жидкости (нефти) при стандартных условиях;

p_w – давление волны, вызванное ультразвуковым воздействием;

0,80498 и -0,013468 – коэффициенты, полученные эмпирическим путем, которые определяют влияние давления волны на вязкость;

$\ln$ – натуральный логарифм.

Формула позволяет рассчитать новую вязкость μ_w на основе измеренного или предполагаемого давления волны p_w , применяя логарифмическую зависимость между этими двумя параметрами.

Рассмотрим изменение вязкости при частоте ультразвукового излучения 18 кГц.

На рис. 2 показано распространение звукового давления при 18 кГц.

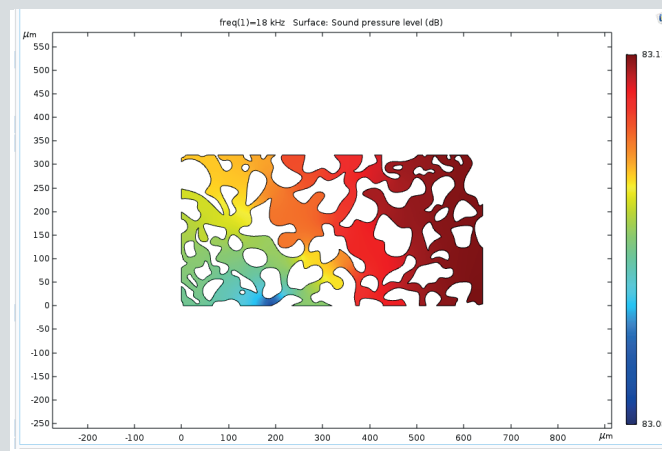


Рис. 2. Распространение звукового давления в поровом пространстве при 18 кГц.

Сурет 2. Поралық кеңістікте дыбыстық қысымның таралуы (18 кГц).

Figure 2. Propagation of sound pressure in the pore space at 18 kHz.

Если продолжительность воздействия превышает время τ_p , то происходит разрыв межмолекулярных связей:

$$\tau_p = \frac{N_p}{\omega}$$

$$N_p = \frac{\sigma_T}{\sigma_0} - \frac{kT}{\gamma\sigma_0} \ln\left\{\frac{\sigma_T}{\sigma_0}\right\},$$

где σ_T – значение напряжения разрыва межмолекулярных связей данного типа;

γ – параметр, характеризующий этот вид межмолекулярных связей;

K – постоянная Больцмана;

T – температура;

τ – напряжение сдвига;

ω – частота колебаний.

Результаты расчета УЗ воздействия на нефть в поровом пространстве приведены в таблице 1.

Исследования показывают, что частота ультразвука играет ключевую роль в определении вязкости нефти. Наиболее заметное уменьшение вязкости происходит при частоте 18 кГц. Однако при использовании более высоких частот наблюдается обратный эффект – увеличение динамической вязкости.

Таблица 1
Результаты компьютерного моделирования

Компьютерлік модельдеу нәтижелері

Table 1

Results of computer simulation

Частота УЗ излучения	Вязкость, мПа*с	Звуковое давление, дБ
18 кГц	0,02	83,11
20 кГц	0,07	68,09
22 кГц	0,075	56,04
24 кГц	0,08	54,82

Лабораторные эксперименты подтверждают, что ультразвуковое воздействие приводит к повышению температуры нефти на 3–4 °С, что в свою очередь снижает ее вязкость на 30%. Кроме того, был отмечен эффект разделения фаз без использования деэмульгаторов и дополнительного нагрева.

На основе данных экспериментов рекомендуется применять акустическое воздействие на скважинах с низким дебитом и обводненностью. Экспериментальные данные также указывают на то, что активация воды оказывает значительное влияние на изменение вязкости нефти.

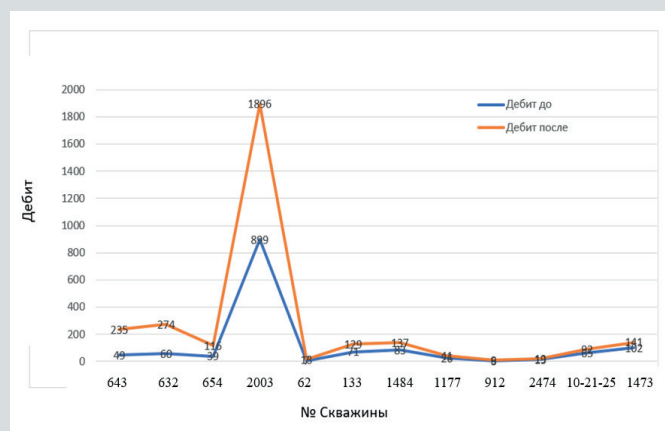


Рис. 5. Сравнение дебита до и после применения технологии обработки ультразвуком на испытуемых скважинах.

Сурет 5. Ультрадыбыстық өңдеу технологиясын қолданғанға дейін және кейін сынақ скважиналарындағы дебитті салыстыру.

Figure 5. Comparison of flow rate before and after the application of ultrasonic treatment technology in test wells.

Из рис. 5 видно, что применение технологии УЗ действует на эффективность нефтеотдачи пластов.

В ходе исследования была разработана секторная геолого-гидродинамическая модель, и на основе собранных данных был выполнен прогноз на следующий год. Результаты показали, что благодаря применению модели можно ожидать дополнительную добычу нефти в размере 53,75 тонн для одной скважины.

Компьютерное моделирование показало, что ультразвуковое воздействие на нефть в поровом пространстве при частоте 18 кГц эффективно снижает вязкость. Это снижение вязкости при перекачке нефти через трубопроводы позволяет уменьшить удельные затраты на транспортировку [10–12].

Экономический анализ подтвердил значительную выгоду от использования ультразвукового воздействия для уменьшения вязкости нефти в скважинах. Однако при применении этого метода на перекачиваемую нефть в трубопроводах выгода оказалась менее значительной.

Для достижения максимальной эффективности метода снижения вязкости нефти критически важно правильно подобрать оптимальные параметры волновой обработки. С учетом усовершенствования текущих технологий, данный метод может быть интегрирован в комплексные решения для добычи трудноизвлекаемых запасов нефти.

Выводы

1. Главной особенностью при физическом моделировании процессов синтеза и разложения УВ в тройной системе «кварц-нефть-вода» является резонансное соответствие скоростей звука кварца и сопутствующих компонентов границы раздела фаз. Об этом свидетельствует факт возникновения гармонического ряда откликов на внешнее импульсное воздействие на частоте разложения воды.

2. Изменение химического состава в трехкомпонентной системе проявляет себя появлением низкоамплитудных откликов, находящихся между частотами гармонического ряда, появляющихся от кварцевых частиц трехкомпонентной смеси. Граница раздела фаз флюидосодержащей системы «нефть-вода» при обработке ее на частоте разложения воды приобретает свойства, характерные для процессов гидрирования, т. е. изменяет химический состав пленочной нефти и воды. При этом в воде образуются органические соединения, не характерные для пленочной нефти.

3. Разработку нового способа снижения вязкости нефти в природных условиях необходимо осуществлять путем управления свойствами границы раздела фаз «нефть-вода», о чем свидетельствуют экспериментальные результаты, полученные для нефтей месторождения Карабулак, Акшабулак и Жанатан.

4. Управление свойствами границы раздела фаз для практического использования можно осуществлять двумя способами: подачей импульсного воздействия в зону гидрирования или подачей активированной воды в нагнетательную скважину.

5. В рамках данной работы была построена секторная геолого-гидродинамическая модель, с использованием полученных данных был осуществлен прогнозный расчет на 1 год. По итогам расчета была получена дополнительная добыча нефти в объеме 53,75 тонн по одной скважине.

6. Было проведено компьютерное моделирование, по результатам которого при ультразвуковом воздействии на нефть в поровом пространстве вязкость нефти снизилась при частоте 18 кГц. При компьютерном моделировании процесса УЗ воздействия на нефтепровод снижение вязкости позволило снизить удельные затраты на перекачку нефти.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Moldabayeva G.Z., Metaxa G.P., Alisheva Zh.N. Теоретические основы реализации процессов снижения вязкости в условиях природного заповедника // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геология и технические науки. 2019. № 5 (437). С. 138–143 (на английском языке)
2. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности: М.: Недра, 1983. 192 с. (на русском языке)
3. Ясин Халили, Мохаммад Ахмади. Моделирование коллекторов: достижения, проблемы и перспективы на будущее // Журнал химической и нефтяной инженерии. 2023. № 57 (2). С. 343–364 (на английском языке)
4. Влияние ультразвуковой обработки на реологические свойства парафинистой нефти / Галимзянова А. Р. [и др.] // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2024. Т. 14. № 1. С. 74–83 (на русском языке)
5. Бадретдинов И.А., Карпов В.Г. Классификация методов увеличения нефтеотдачи (экономический подход) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 1. С. 1–10 (на русском языке)
6. Исследование акустического шума при фильтрации газа через пористую среду / Метелев И.С. [и др.] // Акустический журнал. 2019. Т. 65. № 2. С. 200–207 (на английском языке)
7. Fatukhov M.A., Idrisov R.I. Дегазация углеводородной жидкости в высокочастотном электромагнитном поле // Инженерно-физический журнал. Теплофизика. 2007. Т. 80. № 3. С. 630–633 (на английском языке)
8. Фатыхов М.А., Худайбердина А.И. Математическое моделирование процесса нагрева карбонатосодержащего нефтяного пласта при совместном воздействии соляной кислоты и высокочастотного электромагнитного поля // Башкирский химический журнал. 2008. Т. 15. № 3. С. 29–32 (на русском языке)
9. Моделирование электрического поля. Методические рекомендации / Л.И. Алексеева, С.А. Сверчинская. – Иркутск, 2001. – С. 10–12 (на русском языке)
10. Ковалева Л.А., Насыров Н.М., Хайдар А.М. Математическое моделирование высокочастотного электромагнитного нагрева призабойной зоны горизонтальных нефтяных скважин // Инженерно-физический журнал. 2015. Т. 77. № 6. С. 105 (на русском языке)
11. Квантовые вычисления и моделирование для энергетических приложений: обзор и перспективы / Raudel H.P. [и др.] // АКС Инжиниринг. 2022. № 2 (3). С. 151–196 (на английском языке)
12. Абдель Ваххаб М.А., Абдель Хафез Н.А., Эмбаби А.М. 3D-статическое моделирование водохранилища и бассейна озерно-дельтовой системы в Суэцком заливе, Египет // Пет. Резолюция. 2022. № 8. С. 18–35 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1.. Moldabayeva G.Z., Metaxa G.P., Alisheva Zh.N. Теориялық негіздер табиғи қор аймағында вискозитетті төмендету процестерін іске асыру // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары, Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2019. № 5 (437). Б. 138–143 (ағылшын тілінде)
2. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Нефтяной өнеркәсібінде ультрадыбысты қолдану: М.: Недра, 1983. 192 б. (орыс тілінде)
3. Ясин Халили, Мұхаммед Ахмади. Резервуарларды модельдеу және модельдеу: жетістіктер, қиындықтар және болашақ перспективалар // Химиялық және мұнай инженериясы журналы. 2023. № 57 (2). Б. 343–364 (ағылшын тілінде)
4. Парафинді мұнайдың реологиялық қасиеттеріне ультрадыбыстық өңдеудің әсері / Галимзянова А.Р. [және т. б.] // Мұнай және мұнай өнімдерін құбыр арқылы тасымалдау ғылымы мен технологиялары. 2024. Т. 14. № 1. Б. 74–83 (орыс тілінде)
5. Бадретдинов И.А., Карпов В.Г. Мұнай алу тиімділігін арттыру әдістерінің классификациясы (экономикалық тұрғыдан) // Нефтегаз геологиясы. Теория және практика. 2014. Т. 9. № 1. Б. 1–10 (орыс тілінде)
6. Кеуекті орта арқылы газдың фильтрациясы кезінде акустикалық шуды зерттеу / Метелев И.С. [және т. б.] // Акустикалық журнал. 2019. Т. 65. № 2. Б. 200–207 (ағылшын тілінде)
7. Fatukhov M.A., Idrisov R.I. Жоғары жиілікті электромагниттік өрісте көмірсутек сұйықтығын дегаздандыру // Инженерлік физика және термодинамика журналы. 2007. Т. 80. № 3. Б. 630–633 (ағылшын тілінде)
8. Фатыхов М.А., Худайбердина А.И. Карбонат құрамды мұнай қабатының қыздыру процесін математикалық модельдеу, тұз қышқылы мен жоғары жиілікті электромагниттік өрістің бірлескен әсері кезінде // Башқұрт химиялық журналы. 2008. Т. 15. № 3. Б. 29–32 (орыс тілінде)
9. Электр өрісін модельдеу / Л.И. Алексеева, С.А. Сверчинская. Әдістемелік ұсыныстар. – Иркутск, 2001. – Б. 10–12 (орыс тілінде)

10. Ковалева Л.А., Насыров Н.М., Хайдар А.М. Горизонтальды мұнай ұңғымаларының бұрғылау аймағындағы жоғары жиілікті электромагниттік қыздыруды математикалық модельдеу // Инженерлік физика журналы. 2015. Т. 77. № 6. Б. 105 (орыс тілінде)
11. Энергияны қолдану үшін кванттық есептеу және модельдеу: Шолу және перспектива / Paudel H.P. [және т. б.] // ACS Engineering. 2022. № 2 (3). Б. 151–196 (ағылшын тілінде)
12. Абдель Ваххаб М.А., Абдель Хафез Н.А., Эмбаби А.М. Египеттің Суэц шығанағындағы 3d статикалық резервуар мен бассейндік желдеткіш-дельта жүйесін модельдеу // Шешім. 2022. № 8. Б. 18–35 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Moldabayeva G.Z., Metaxa G.P., Alisheva Zh.N. Theoretical bases for the implementation of the processes to reduce viscosity in the conditions of natural reservation // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2019. No. 5 (437). 138–143 pp. (in English)
2. Kuznetsov O.L., Efimova S.A. *Primenenie ul'trazvuka v neftyanoi promyshlennosti* [Application of ultrasound in the oil industry], Moscow: Nedra, 1983. 192 p. (in Russian)
3. Yasin Khalili, Mohammad Ahmadi. Reservoir Modeling & Simulation: Advancements, Challenges, and Future Perspectives // Journal of Chemical and Petroleum Engineering. 2023. No. 57 (2). 343–364 pp. (in English)
4. Vliyanie ul'trazvukovoi obrabotki na reologicheskie svoystva parafinistoi nefti [Effect of Ultrasonic Treatment on the Rheological Properties of Waxy Oil], Galimzyanova A.R. [et al.], Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov [Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation]. 2024. V. 14. No. 1. 74–83 pp. (In Russian)
5. Badretdinov I.A., Karpov V.G. Klassifikatsiya metodov uvelicheniya nefteotdachi (ekonomicheskii podkhod) [Classification of methods for increasing oil recovery (economic approach)], Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika [Oil and Gas Geology. Theory and Practice]. 2014. V. 9. No. 1. 1–10 pp. (in Russian)
6. Metelev I.S., Ovchinnikov M.N., Marfin E.A. Study of Acoustic Noise during Gas Filtration through a Porous Medium // Acoustical Physics. 2019. V. 65. Issue 2. 200–207 pp. (in English)
7. Fatykhov M.A., Idrisov R.I. Degassing of a hydrocarbon fluid in a high-frequency electromagnetic field // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2007. V. 80. No. 3. 630–633 pp. (in English)
8. Fatykhov M.A., Khudaiberdina A.I. Matematicheskoe modelirovanie protsessa nagreva karbonatosoderzhashchego neftyanogo plasta pri sovmestnom vozdeistvii solyanoi kisloty i vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya [Mathematical modeling of the heating process of carbonate-containing oil reservoirs under the combined impact of hydrochloric acid and high-frequency electromagnetic fields], Bashkirskii khimicheskii zhurnal [Bashkir Chemical Journal]. 2008. V. 15. No. 3. 29–32 pp. (in Russian)
9. Modelirovanie elektricheskogo polya. Metodicheskie rekomendatsii [Modeling of electric fields. Methodical guidelines], L.I. Alexeeva, S.A. Sverchinskaya. – Irkutsk, 2001. 10–12 pp. (in Russian)
10. Kovaleva L.A., Nasirov N.M., Khaidar A.M. Matematicheskoe modelirovanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo nagreva prizaboynoi zony gorizonta'nykh neftyanykh skvazhin [Mathematical modeling of high-frequency electromagnetic heating of the near-wellbore zone of horizontal oil wells], Inzhenerno-fizicheskii zhurnal [Engineering Physics Journal]. 2015. V. 77. No. 6. 105 p. (in Russian)
11. Quantum computing and simulations for energy applications: Review and perspective / Paudel H.P. [et al.] // ACS Engineering. 2022. No. 2 (3). 151–196 pp. (in English)
12. Abdel Wahhab M.A., Abdel Hafez N.A., Embabi A.M. 3D-static reservoir and basin modeling of a lacustrine fan-deltaic system in the Gulf of Suez, Egypt // Pet. Res. 2022. No. 8. 18–35 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Алишева Ж.Н., Ph.D доктор, и.о. доцента, Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), zhannat_86.2007@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0929-4984>

Курманбаев О.С., Ph.D доктор, и.о. доцента, Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), olzhas_ak@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Кумар А., магистрант, Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), palkovvodez@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-6026-3625>

Авторлар туралы мәліметтер:

Алишева Ж.Н., Ph.D докторы, доцент қызметін атқарушы, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Курманбаев О.С., Ph.D докторы, доцент қызметін атқарушы, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Кумар А., магистрант, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Alisheva Zh.N., Doctor Ph.D, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Kurmanbayev O.S., Doctor Ph.D, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Kumar A., Master's student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.47.33

М.С. Молдабеков¹, *М.С. Бөкенова², Р.Д. Сүлей¹¹Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),²Қ.И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты (Алматы қ., Қазақстан)

ҚҰБЫРӨТКІЗГІШТЕР МЕН ҰҢҒЫМАЛАРДА ГИДРАТ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ АЛДЫН АЛУ МЕН ГИДРАТ ТЫҒЫНДАРЫН ЖОЮ ӘДІСТЕРІНЕ ТАЛДАУ

Андатпа. Мақалада гидраттардың пайда болу себептері мен олардың алдын алу және гидрат тығындарын жою әдістері талданды. Гидрат түзілуінің алдын алудың ең оңтайлы әдісі метанолды және кинетикалық ингибиторларды қолдануды алдын ала газды кептірумен біріктіретін екі реагентті әдіс болып табылды. Бұл ретте ингибиторларды жеткізуді автоматтандыру дәрежесін арттыру және тасымалдау шығындарын азайту және улы ингибиторлардың төгілу жағдайларын жою мақсатында газ өндіру орындарында метанол синтезі үшін жылжымалы контейнерлік қондырғыларды пайдалану мүмкіндігін қарастыру қажет. Ал гидрат тығындарын жою үшін гидрат тығынының екі жағындағы газ құбырының учаскесіне қысымның төмендеуімен бір мезгілде ингибиторды енгізу оңтайлы шешім болады.

Түйінді сөздер: гидрат, құбырөткізгіш, ұңғыма, газ, конденсат, тазалау, ингибитор, гидрат тығындары.

Analysis of methods for preventing hydrate formation and removing hydrate plugs in pipelines and wells

Abstract. The article analyzed the causes of hydrate formation and methods for preventing and removing hydrate plugs. The most optimal method for preventing hydrate formation was established to be a two-reagent method combining the use of methanol and kinetic inhibitors with preliminary gas drying. At the same time, it is necessary to increase the degree of automation of the supply of inhibitors and consider the possibility of using mobile containerized methanol synthesis units at gas production facilities in order to reduce transportation costs and eliminate cases of spills of toxic inhibitors. And to eliminate hydrate plugs, the optimal solution would be the simultaneous introduction of an inhibitor with a reduction in pressure in the section of the gas pipeline on both sides of the hydrate plug.

Key words: hydrate, pipeline, well, gas, condensate, cleaning, inhibitor, hydrate plugs.

Анализ методов предупреждения гидратообразования и удаления гидратных пробок в трубопроводах и скважинах

Аннотация. В статье были проанализированы причины гидратообразования и методы по предупреждению и удалению гидратных пробок. Наиболее оптимальным методом предотвращения гидратообразования установлен двухреагентный метод, комбинирующий применение метанола и кинетических ингибиторов с предварительной осушкой газа. При этом требуется повысить степень автоматизации подачи ингибиторов и рассмотреть возможность использования мобильных контейнерных установок синтеза метанола на объектах добычи газа в целях сокращения транспортных расходов и исключения случаев разлива токсичных ингибиторов. А для ликвидации гидратных пробок оптимальным решением будет одновременный ввод ингибитора со снижением давления на участке газопровода по обе стороны от гидратной пробки.

Ключевые слова: гидрат, трубопровод, скважина, газ, конденсат, очистка, ингибитор, гидратные пробки.

Кіріспе

Кен орындарындағы қабат жағдайында газ қаныққан су буымен бірге кездеседі. Өндіріс кезінде қысымның біртіндеп төмендеуі байқалады, бұл өз кезегінде газ температурасының төмендеуіне әкеледі. Бұл жағдайда табиғи газ молекулалары сумен әрекеттесіп, қатты кристалды бөлшектер түзеді. Су буы конденсацияланып, ұңғыма мен газ құбырларында жиналады. Белгілі бір жағдайларда көмірсутекті газ компоненттерінің (метан, этан, пропан, бутан) әрбір молекуласы судың 6–17 молекуласын байланыстыруға қабілетті, мысалы, $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{C}_2\text{H}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; $\text{C}_3\text{H}_8 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$. Осылайша, кристалды гидраттар деп аталатын қатты кристалды заттар түзіледі [1, 2]. Гидрат – судың көмірсутек газдары бар физикалық және химиялық қосылыстары. Сыртқы көріністе гидраттар сарғыш реңктері бар бос қарға немесе мұзға ұқсайды (1 сурет) [3]. Бұл тұрақсыз қосылыстар, сондықтан қыздырғанда немесе қысымды төмендеткенде олар тез газға және суға ыдырайды.

Жабдықтың гидратсыз жұмысы мына жағдайда мүмкін болады: $P \leq P_m$ және $T \geq T_m$, мұндағы P_m және T_m – гидрат түзілудің тепе-теңдік қысымы мен температурасы, олар тәжірибе арқылы анықталады. Оның үстіне қысым неғұрлым жоғары болса, соғұрлым T_m жоғары болады. Жоғары қысым жағдайында гидраттар критикалық деңгейден жоғары температурада болуы мүмкін емес. Гидраттардың түзілуіне көмірсутекті емес компоненттер мен табиғи газдың қасиеттері айтарлықтай әсер етеді. Күкіртсутек пен көмірқышқыл газының пайызының артуы гидрат түзілудің тепе-теңдік температурасының



Сурет 1. Құбырөткізгіштегі гидрат түзілімдері.

Figure 1. Hydrate formations in the pipeline.

Рис. 1. Гидратные образования в трубопроводе.

жоғарылауына және тепе-теңдік қысымының төмендеуіне әкеледі. Мысалы, 50 атм қысымда таза метан үшін гидрат түзілу температурасы 60 °С, ал H_2S жоғарылағанда ол 10 °С-қа жетеді. Құрамында азот бар табиғи газдардың гидрат түзілу температурасы төмен, өйткені гидраттардың тұрақтылығы төмендейді. Сұйық көмірсутекті газдарда гидраттардың түзілуі жоғары қысымды және төмен температураны қажет етеді [4]. Табиғи

газдардан айырмашылығы, сұйық көмірсутекті газдардағы гидраттардың бөлінуі жүйе қысымының жоғарылауымен (жабық көлемде) жүреді. Сонымен қатар, табиғи газдар сияқты, бұл жағдайда жылу бөлінеді, нәтижесінде жүйенің температурасы артады. Көлем тұрақты болып қалатындықтан, жүйедегі температура жоғарылаған сайын қысым да артады. Шаралар қабылданбаған жағдайларда гидрат тығындары пайда болып, ұңғымаларда және жоғары қысымды газ құбырларында үлкен апаттарға әкеледі.

Әдістер/зерттеулер

Табиғи газ гидраттарының пайда болуының алдын алу және күресу

Өр түрлі типтегі құбырлар мен кәсіпшілік аппараттарда гидрат түзілу процесімен күресудің негізгі әдістерін үш топқа бөлуге болады [5]:

1) химиялық – ингибиторларды қолдану (метанол, гликольдер және т. б.);

2) технологиялық – газды ыдырау температурасынан асатын температураға дейін қыздыру; қысымның төмендеуі; желіде тазалау; реагенттерді қолдану;

3) физикалық – қорғаныс жабындарын қолдану.

Гидрат түзілу ингибиторлары әсер ету принципі бойынша термодинамикалық, кинетикалық және реагенттік (антиагломеранттар) болып үш түрге бөлінеді [6].

Термодинамикалық әсердің ингибиторлары. Дәстүрлі түрде газ ағынына метанолдың, этиленгликольдің немесе диэтиленгликольдың көп мөлшерін қосу (жеткілікті жоғары концентрацияда) газ өндіру жүйелерінде гидрат түзілуін болдырмаудың ең кең таралған практикалық әдісі болды. Бұл химиялық заттар «термодинамикалық ингибиторлар» деп аталады және гидрат түзілу орындарын солға жылжытатын әсерге ие, гидраттардың солға жылжуына мүмкіндік береді, бұл гидрат түзілу нүктесінің төменгі температура және/немесе жоғары қысым аймағына ауысуына әкеледі. Мұндай ингибиторлар өте қымбат, улы және қоршаған ортаға зиянды [6, 7].

Кинетикалық әрекет ингибиторлары. Кинетикалық ингибитор кристалдардың өсуін ынталандырады және көмірсутектерді мұз кристалдық желісінде ұстайды, оларға су молекулаларының адсорбциясы арқылы әсер етеді және газ бен су молекулалары арасындағы химиялық байланысты болдырмайды. Бұл ингибиторлар тығыздығы төмен газ желілеріне қосылады [7]. Төмен температурамен жұмыс істейтін табиғи газды зауыттық өңдеу жүйелерінде, сондай-ақ тұрақты термодинамикалық тәртіпті сақтау мүмкін емес құбырлар мен резервуарларда кинетикалық әсер ингибиторларын қолдану тиімді емес, өйткені мұндай реагенттердің көпшілігі гидрат аймағына 30–50 градус немесе одан да көп түскен кезде гидрат түзілуін баяулата алмайды [7, 8].

Кинетикалық ингибиторларды қолдану дәстүрлі ингибиторлардың (метанол немесе гликольдер) қажеттілігін толығымен жоймайды. Біріншіден, оларды тек тұрақты күйде пайдалануға болады, екіншіден, оларды сенімді пайдалану үшін гидрат түзілудің басталуын уақтылы тануға мүмкіндік беретін жоғары сезімтал автоматты басқару құрылғылары мен жүйелері қажет, бұл дәстүрлі мета-

нолға уақытша көшуді талап етеді. Осылайша, кез келген жағдайда ингибиторлардың кіруі мен шығарылуын қамтамасыз ету жүйесі «екі реагентті» болуы керек.

Антиагломеранттар. Антиагломеранттар гидрат кристалдарының адгезиясын төмендететін және олардың жабықтың қабырғаларына жабысып қалуын болдырмайтын қосылыстар болып табылады. Антиагломеранттар ретінде көмірсутектерде еритін әртүрлі беттік белсенді заттар, мысалы, проксанол, сульфанол, катапин А, желатин ұсынылды. Дегенмен, қазіргі уақытта барлық технологиялық операциялардың толық циклін қамтитын, эмульсияларды жою кезеңін және көп фазалы қоспаның ағынының режимін үнемі бақылау әдістерін қамтитын енгізілген технологиялар жоқ [8]. Диспергаторларды пайдалану кезіндегі экологиялық қауіпсіздік мәселесі әлі де шешімін таппаған.

Айтарлықтай төмен қысымда газдың түрленуі. Гидрат диссоциациясының қисығы негізінде төмен қысым атмосфералық температураға эквивалентті қысымнан аз болатын құрылғыдағы қысымды ұстап тұру әдісін білдіреді. Төменгі суперсалқындату гидрат түзілу үшін қозғаушы күшті азайтып, ингибитордың дозасын шектей алады [9].

Ағынды қоспаны гидрат түзілу шегінен тыс ұстау үшін жылуды сақтау немесе енгізу үшін термиялық әдістер қолданылады. Жылуды ұстап тұру әдеттегі тәжірибе болып табылады және оқшаулау арқылы қол жеткізіледі. Әдетте, мұндай сақтау жүйелерін жобалау кезінде оқшаулаудың жоғары құны, жүйенің күтілетін өнімділігі және соған байланысты зиян деңгейі арасындағы тепе-теңдік сақталады. Күрделі шығындар мен технологиялық қиындықтардың жоғары деңгейіне қоса, ұзақ тоқтау кезінде гидрат түзілу аймағын енгізуден аулақ болу мүмкін емес еді. Дегенмен, қалыпты жұмыс жағдайында бұл әдетте гидраттың пайда болуына жол бермейді.

Дегидраторлар. Дегидраторларды пайдалану гидраттарды басқарудың балама жүйесін қажет етеді. Ылғалды күкіртті газда гидрат түзілуін тиімді бақылау үшін қажетті сусыздандыру жабығының, компрессордың, басқару құралдарының, клапандардың және қондырғының құны 200 000 АҚШ долларын құрайды, бұл ретте дизель отынына, гликоль ысыраптарына, компрессорды пайдалану және жөндеуге арналған ағымдағы шығындары есепке алынбаған [9]. Сонымен қатар, ол жай ғана буды құрғатып, қышқыл конденсатты сіңіп қалған қалдырады. Алдыңғы зерттеулерден газ бен конденсат рекомбинацияланған кезде гидратация жағдайлары шынымен де болуы мүмкін екендігі анықталды.

Белсенді қыздыру. Парафин және гидрат тәуекел жүйелерінің жылу тиімділігін толықтыру үшін, әсіресе өшіру, іске қосу және кейбір жағдайларда қалыпты жұмыс кезінде белсенді құбырларды жылыту технологиялары әзірленді. Белсенді қыздыру электрлік жылытуды және қаптағы ыстық сұйықтықтың айналымын қыздыруды пайдаланады. Ағынды желілерде және көтергіштерде қуатты тұтынуды азайту үшін белсенді қыздыруға жылу оқшаулауды қосу керек [10]. Бұл ағындық желі жүйесі өндіріс жүйесіндегі қалыпты жұмыс және тоқтау жағдайлары кезінде гидрат түзілуін болдырмау немесе жою әдісін қамтамасыз ету үшін арнайы таңдалған. Оған қоса, құрылғы температурасын гидрат түзілу температурасынан ғана емес, сонымен

қатар парафиннің пайда болу температурасынан жоғары ұстау арқылы қыздырылған түтік конфигурациясы ағын желілерінде парафиннің жиналуын азайтады, бұл парафиннің жиналуын бақылау үшін қырғыштарды жүргізу қажеттілігін айтарлықтай жояды.

Газды құрғату. Гидраттардың пайда болуын болдырмаудың тиімді және сенімді әдісі – құбырға кірер алдында газды кептіру. Оны қалыпты газ тасымалдауды қамтамасыз ететін шық нүктесіне дейін жүргізу қажет. Әдетте, кептіру газ құбырындағы газдың ең төменгі мүмкін температурасынан 5–6 градус төмен шық нүктесіне дейін жүзеге асырылады [10]. Бұл жағдайда шық нүктесін таңдау техника-экономикалық мәселе болып табылады және газды кеніштен тұтынушыға дейін тасымалдаудың бүкіл жолында газбен жабдықтау сенімділігін қамтамасыз ету шартына сүйене отырып шешілуі керек.

Гидрат тығындарын жою үшін антигидрат ингибиторларын енгізу. Гидрат тығынының пайда болу орнын әдетте газ құбырының берілген учаскесіндегі қысымның төмендеуінің жоғарылауымен анықтауға болады. Егер тығын қатты болмаса, онда ингибитор құбырға арнайы құбырлар, манометрлерге арналған фитингтер немесе тазартқыш тығын арқылы енгізіледі. Қысқа ұзындықтағы қатты гидрат тығындарын дәл осылай жоюға болады [11]. Тығынның ұзындығы жүздеген метр болса, оны көрсетілген әдіспен жою ұзақ уақыт алуы мүмкін. Бұл жағдайда гидрат тығынының үстіндегі құбырда бірнеше терезелер кесіліп, олар арқылы метанол құйылады. Содан кейін құбыр қайтадан дәнекерленеді. Гидрат тығынын тез ыдырату үшін аралас әдіс қолданылады: гидрат түзілу аймағына ингибиторды енгізумен бір мезгілде қысым төмендетіледі.

Қысымды төмендету арқылы гидрат тығындарын жою. Бұл әдістің мәні гидраттардың тепе-теңдік күйін бұзу, нәтижесінде олардың ыдырауы болып табылады. Қысым үш жолмен төмендейді [11–12]:

1) газ құбырының тығын пайда болған бөлігін жауып, газды ауаға екі жағынан тазартқыш тығындар арқылы жібереді;

2) бір жағынан желілік клапанды жауып, тығын мен жабық клапандардың біреуі арасында орналасқан газды атмосфераға шығару;

3) тығынның екі жағындағы газ құбырының учаскесін жауып, тығын мен тығындау клапандарының біреуі арасындағы газды атмосфераға шығару.

Үлкен газ шығындарымен болса да ең жақсы нәтиже бірінші жағдайда алынады. Екінші және үшінші жағдайларда қысымның бір жақты төмендеуі апатқа әкелуі мүмкін. Гидраттар ыдырағаннан кейін ұңғыманы тазартады, бірақ бұл көбінесе тазартылған аймақта сұйық көмірсутектердің жиналу мүмкіндігін және температураның күрт төмендеуіне байланысты гидрат-мұз тығындарының қайталануын ескермейді. Нөлден төмен температурада қысымды төмендету әдісін қолдануға болмайды, өйткені гидраттардың ыдырауы нәтижесінде пайда болған су мұзға айналады және мұз тығынын құрайды. Бұл жағдайда қысымды төмендету әдісі ингибиторларды берілген температурада алынған ерітінді (енгізілген ингибитор және гидраттардың ыдырауы кезінде пайда болған су) қатып қалмайтындай мөлшерде құбырға енгізумен бірге қолданылады. Гид-

раттардың ыдырауы қысымның төмендеуімен ингибиторларды енгізумен бірге кез келген әдісті бөлек қолданғанға қарағанда әлдеқайда жылдам жүреді.

Табиғи және сұйытылған газ құбырларындағы гидрат тығындарын қыздыру әдісімен жою. Бұл әдіспен гидрат түзілудің тепе-теңдік температурасынан жоғары температураны арттыру олардың ыдырауына әкеледі. Іс жүзінде құбырлар жүйесі ыстық сумен немесе бұмен жылытылады. Зертханалық зерттеулер гидраттардың тез ыдырауы үшін гидрат пен металдың жанасу нүктесіндегі температураны 30–40 °C дейін арттыру жеткілікті екенін көрсетеді. Тығынның орнын нақтылау үшін құбырларда тесіктер бұрғыланады, манометрі бар қысқыш орнатылып, қысым өлшенеді. Трассадағы қысымның өзгеруі негізінде тығынның орны анықталады. Газ құбырларында кір мен гидрат тығындарының жиналуын анықтаудың жылдам және арзан әдісі – радар әдісі [12]. Бұл әдісте антенналар газ құбырына арнайы тармақ (лубрикатор) арқылы енгізіледі, стандартты жылжымалы радиолокациялық станцияға қосылады және газ құбырының ұзындығы бойынша әрбір 20–40 км сайын орнатылады. Антеннадан гидрат тығынының пайда болу орнына дейінгі қашықтық бірнеше метрлік дәлдікпен анықталады.

Нәтижелер

Бұл әдіс құбырларды тазалау үшін қолданылатын «тырмақтың» қозғалысын бақылауда да өте тиімді. Радиосигналдарды пайдалана отырып, газ құбырында сұйықтықтың жиналуын да байқауға болады. Газ құбырларындағы гидрат-мұз және сұйық тығындардың орналасуын және қалыңдығын радиоизотопты құрылғылар арқылы құбырларды сканерлеу арқылы анықтау кезінде де жақсы нәтижелер алынады. Радиометриялық қондырғы құбыр бойымен қозғалады. Гидраттың орналасқан жерінде аспап көрсеткіштерінің күрт төмендеуі байқалады. Құбырға түскен сұйықтықтың жиналу орны мен оның қабатының қалыңдығы да анықталады.

Нәтижелерді талқылау

Ұңғымалар мен газ құбырларындағы гидраттардың түзілу мәселесі толық зерттелмегені анықталды, өйткені болжанбайтын әрекетке және газ гидраттарының түзілу процесін жеделдетуге немесе тепе-теңдік қисығын жоғары температураға жылжытуға қабілетті технологиялық сұйықтықтардың жаңа технологиялары мен жүйелері енгізілуде. Ұңғыманы жуу және сынау кезінде сораптық-компрессорлық құбырларда гидрат түзілу жағдайлары белгілі. Ұңғыманың төменгі түп аймағын метанолмен өңдеу және оны ағынға қосу тиімсіз, өйткені жуу кезінде оны тежеуге жеткілікті концентрациядағы метанол қолданылады, содан кейін оның концентрациясы айтарлықтай төмендейді және гидраттың өсу процесін күшейте бастайды.

Қорытынды

Сонымен, алыс қашықтықтан тасымалданатын метанол көлемін азайтуға метанолды тұтынуды оңтайландыру, оның тиімділігін арттыратын қосымша компоненттерді қосу, сондай-ақ газ өндіру орындарында шағын көлемде

метанол синтезіне арналған жылжымалы контейнерлік қондырғыларды және басқа компоненттерді орналастыру арқылы қол жеткізуге болады. Бұл ретте ингибиторларды беруді автоматтандыру дәрежесін арттыру және гидраттың түзілуін болдырмау және гидрат тығындарын жою үшін метанолдың берілуін автоматты басқаруды қамтама-

сыз ететін алгоритмдер кешенін әзірлеу қажет, бұл газ жинау және тасымалдау жүйелерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Газ құбырларындағы гидрат тығындарын жою үшін гидрат тығынының екі жағындағы қысымды төмендететін ингибиторды бір уақытта енгізу оңтайлы шешім болып қала береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Катаев К.А. Табиғи газ құбырөткізгіштеріндегі гидрат пайда болуы // Ғылыми басылымдардың Бүкілресейлік журналы. 2011. № 1 (2). Б. 22–23 (орыс тілінде)
2. Грунвальд А.В. Метанолды гидрат түзілу ингибиторы ретінде газ өнеркәсібінде пайдалану және оны 2030 жылға дейін тұтыну болжамы // «Мұнай және газ бизнесі» электронды ғылыми журналы. 2007. № 2. Б. 29–37 (орыс тілінде)
3. Слоан Э.Д. Гидрат парадигмасын қорқыныштан тәуекелден аулақ болуға және басқаруға өзгерту // Сұйық фазалық тепе-теңдік. 2005. Т. 228–229. Б. 67–74 (ағылшын тілінде)
4. Абдул А., Таракан Т., Сара А. Табиғи газ құбырларында метан гидраттарының түзілуін болдырмау – Кешенді шолу // Мұнай химиясы және табиғи газ халықаралық журналы. 2022. № 2 (3). Б. 98–107 (ағылшын тілінде)
5. Мусакаев Н.Г., Уразов Р.Р. Құбырлардағы гидраттардың пайда болуымен күресу үшін гидрат фазасының термодинамикалық тұрақсыздығын құру әдістерін теориялық зерттеу // Қазіргі ғылым. 2013. № 1 (12). Б. 7–12 (орыс тілінде)
6. Тұрақты химиядағы газ гидраттары / Хассанпурьюзбанд А. [және т.б.] // Химия қоғамының шолулары. 2020. Шығ. 49 (15). Б. 5225–5309 (ағылшын тілінде)
7. Эсаклул К.А., Фунг Г., Харрисон Г. (2003, мамыр). Терең су құбырларында ағынды реттеу үшін белсенді қыздыру // Оффшорлық технологиялар конференциясы, Хьюстон, Техас, 2003 жылғы 5–8 мамыр. № 56 (06). Б. 123–145 (ағылшын тілінде)
8. Рахматуллин Д.Р., Фахрисламова Э.Ш., Краснов А.Н. Газ кенішіндегі құбырлардағы гидраттардың пайда болуын болдырмау әдістерін қарастыру // Кәсіпорындардағы электрлік жетек, электр технологиялары және электр жабдықтары: конф. ғыл. мақалаларының жинағы. Уфа, 2015. № 7. 48–57 (орыс тілінде)
9. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Узловое кен орны мысалында газ ұңғымаларын пайдалану кезінде гидрат түзілуінің алдын алу және жою әдістері // Ғылым. Техника. Технологиялар. 2017. № 2. Б. 82–108 (орыс тілінде)
10. Дәрібаев Ю.А., Кабдушев А.А. Амангелді кен орнында гидраттың түзілуін алдын алу және онымен күресу // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2022. Т. 4. № 3. Б. 76–83 (қазақ тілінде)
11. Краснов А.Н., Федоров С.Н. Уренгой мұнай-газ конденсат кен орнының (МГТП) газконденсат ұңғымаларының және шлейфтерінің технологиялық параметрлерін телеметриялық бақылау жүйесі // Технологиялық процестер мен өндірісті басқару және автоматтандыру мәселелері: Бүкілресейлік ғылыми-техникалық конф. жинағы. Уфа, 2010. № 3 (2). Б. 60–65 (орыс тілінде)
12. Белькень И., Ронай Л. Ингибиторлардың мөлшерлеу жүйесін реттеу // XXVIII microCAD халықаралық пәнаралық ғылыми конференциясы, Мишкольц университеті, Венгрия, 2016. № 8. Б. 253–261 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Kataev K.A. Gidratoobrazovanie v truboprovodah prirodnogo gaza [Hydrate formation in natural gas pipelines], Vserossiyskiy zhurnal nauchnykh publikacij [All-Russian Journal of Scientific Publications]. 2011. No. 1 (2). 22–23 pp. (in Russian)
2. Grunval'd A.V. Ispol'zovanie metanola v gazovoy promyshlennosti v kachestve ingibitora gidratoobrazovaniya i prognoz ego potrebleniya v period do 2030 g. [Use of methanol in the gas industry as an inhibitor of hydrate formation and forecast of its consumption in the period up to 2030], Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo» [Electronic scientific journal «Oil and Gas Business»]. 2007. No. 2. 29–37 pp. (in Russian)
3. Sloan E.D. A changing hydrate paradigm – from apprehension to avoidance to risk management // Fluid Phase Equilibria. 2005. V. 228–229. 67–74 pp. (in English)
4. Abdul Ameen, Tharakan Thadil, Sara Amani. Preventing the Formation of Methane Hydrates in Natural Gas Transmission Pipelines – A Comprehensive Review // International Journal of Petrochemistry & Natural Gas. 2022. No. 2 (3). 98–107 pp. (in English)

5. Musakaev N.G., Urazov R.R. *Teoreticheskoe issledovanie metodov sozdaniya termodinamicheskoy nestabil'nosti gidratnoj fazy dlja bor'by s gidratoobrazovaniem v truboprovodah* [Theoretical study of methods for creating thermodynamic instability of the hydrate phase to combat hydrate formation in pipelines], *Sovremennaja nauka* [Modern Science]. 2013. No. 1 (12). 7–12 pp. (in Russian)
6. Gas hydrates in sustainable chemistry / Hassanpouryouzband A. [et al.] // *Chemical society reviews*. 2020. No. 49 (15). 5225–5309 pp. (in English)
7. Esaklul K.A., Fung G., Harrison. G. Active heating for flow assurance control in deepwater flowlines // *Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 5–8, 2003*. No. 56 (06). 123–145 pp. (in English)
8. Rahmatullin D.R., Fahrislamova Je.Sh., Krasnov A.N. *Obzor metodov preduprezhdenija gidratoobrazovaniya v truboprovodah gazovyh promyslov* [Review of methods for preventing hydrate formation in gas field pipelines], *Jelektroprivod, jelektrotehnologii i jelektrooborudovaniya predpriyatij: sb. nauch. tr. konf.* [Electric drive, electrical technologies and electrical equipment of enterprises: collection of scientific papers from the Ufa Conf.], Ufa, 2015. No. 7. 48–57 pp. (in Russian)
9. Berezovskij D.A., Kusov G.V., Savenok O.V. *Metody preduprezhdeniya i likvidacii gidratoobrazovaniya pri jekspluatcii gazovyh skvazhin na primere mestorozhdeniya Uzlovoe* [Methods of preventing and eliminating hydrate formation during operation of gas wells using the example of the Uzlovoe field], *Nauka. Tehnika. Tehnologii* [Science. Technology. Technologies]. 2017. No. 2. 82–108 pp. (in Russian)
10. Daribaev Ju.A., Kabdushev A.A. Prevention and removal of hydrate formation at the Amangeldy gas field // *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2022. V. 4. No. 3. 76–83 pp. (in Kazakh)
11. Krasnov A.N., Fedorov S.N. *Sistema telemetricheskogo kontrolja tehnologicheskikh parametrov gazokondensatnyh skvazhin i shlejfov urengojskogo NGKM (SKTP)* [Telemetry control system for technological parameters of gas condensate wells and pipelines of the Urengoy oil and gas condensate field (SKTP)], *Problemy upravleniya i avtomatizacii tehnologicheskikh processov i proizvodstv* [Problems of control and automation of technological processes and production], collection of works of the All-Russian scientific and technical conf. Ufa, 2010. No. 3 (2). 60–65 pp. (in Russian)
12. Bölkény I., Rónai L. Regulation of an Inhibitor Dosing System // *XXVIII microCAD Internacional Multidisciplinary Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary, 2016*. No. 8. 253–261 pp. (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Катаев К.А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа // *Всероссийский журнал научных публикаций*. 2011. № 1 (2). С. 22–23 (на русском языке)
2. Грунвальд А.В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его потребления в период до 2030 г. // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2007. № 2. С. 29–37 (на русском языке)
3. Слоан Э.Д. Изменение парадигмы гидратов – от опасений до избегания и управления рисками // *Равновесие жидкой фазы*. 2005. Т. 228–229. 2005. С. 67–74 (на английском языке)
4. Абдул А., Таракан Т., Сара А. Предотвращение образования гидратов метана в трубопроводах транспортировки природного газа – комплексный обзор // *Международный журнал нефтехимии и природного газа*. 2022. № 2 (3). С. 98–107 (на английском языке)
5. Мусакаев Н.Г., Уразов Р.Р. Теоретическое исследование методов создания термодинамической неустойчивости гидратной фазы для борьбы с гидратообразованием в трубопроводах // *Современная наука*. 2013. № 1 (12). С. 7 – 12 (на русском языке)
6. Газовые гидраты в устойчивой химии / Хассанпурьюзбанд А. [және т.б.] // *Обзоры химического общества*. 2020. Вып. 49 (15). С. 5225–5309 (на английском языке)
7. Эсаклул К.А., Фунг Г., Харрисон Г. Активный нагрев для контроля обеспечения потока в глубоководных трубопроводах // *Конференция по оффшорным технологиям, Хьюстон, Техас, 5–8 мая 2003*. № 56 (06). С. 123–145 (на английском языке)
8. Рахматуллин Д.Р., Фахрисламова Э.Ш., Краснов А.Н. Обзор методов предупреждения гидратообразования в трубопроводах газовых промыслов // *Электропривод, электротехнологии и электрооборудования предприятий: сб. науч. тр. конф.* Уфа, 2015. № 7. С. 48–57 (на русском языке)
9. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Методы предупреждения и ликвидации гидратообразования при эксплуатации газовых скважин на примере месторождения Узловое // *Наука. Техника. Технологии*. 2017. № 2. С. 82–108 (на русском языке)

10. Дарибаев Ю.А., Кабдушев А.А. Предупреждение и удаление гидратообразования на месторождении Амангельды // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2022. Т. 4. № 3. С. 76–83 (на казахском языке)
11. Краснов А.Н., Федоров С.Н. Система телеметрического контроля технологических параметров газоконденсатных скважин и шлейфов уренгойского НГКМ (СКТП) // Проблемы управления и автоматизации технологических процессов и производств: сб. тр. Всероссийской науч.-технической конференции. Уфа, 2010. № 3 (2). С. 60–65 (на русском языке)
12. Белькень И., Ронай Л. Регулирование системы дозирования ингибиторов // Международная междисциплинарная научная конференция XXVIII microCAD, Университет Мишкольца, Венгрия, 2016. № 8. С. 253–261 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Молдабеков М.С., Ph.D докторы, «Мұнай инженериясы» кафедрасының қауым. профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), m.moldabekov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1623-0324>

Бөкенова М.С., техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Қ.И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты (Алматы қ., Қазақстан), bukenova77@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2224-6453>

Сүлей Р.Д., «Мұнай инженериясы» кафедрасының магистранты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), rustem.suley.pe@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-8391-4709>

Information about the authors:

Moldabekov M.S., Ph.D, Associate Professor at the Department of Petroleum engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Bukenova M.S., Master of Technical Sciences, researcher, Institute of geological sciences named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Suley R.D., master's student of the Department of Petroleum engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Молдабеков М.С., доктор Ph.D, ассоц. профессор кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Буменова М.С., магистр технических наук, научный сотрудник, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Сүлей Р.Д., магистрант кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ВЫСТАВКА

24-26 сентября 2025

23-я международная выставка-форум



ПРОМЫШЛЕННЫЙ САЛОН

Ваше оборудование — наши покупатели

18+

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВА
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТОРГОВЛИ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



СОЮЗ
МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
РОССИИ



ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПАЛАТЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПАЛАТЫ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



ЭКСПО-ВОЛГА
организатор выставок с 1986 г.

г. Самара, ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-24

www.expo-volga.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте minmag.kz).

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

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?p1=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
- инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
- сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
- полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
- аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
- ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются); ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
- текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
- список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте minmag.kz.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.