

**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, 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 30.07.2026 г.

Отпечатано:

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

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



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

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:

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

Vach K., доктор Ph.D (Чехия)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Каримов Ш.В., PhD, и.о. доцента кафедры
(Узбекистан)

Кожогулов К.Ч., д-р техн. наук, профессор, засл.
деятель науки КР, академик (Кыргызская Республика)

Levin E., доктор Ph.D, ассоц. профессор (США)

Mishra B.M., профессор (США)

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

Nikoloski A.N., профессор (Австралия)

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

Sladkovsky A., д-р техн. наук, профессор (Польша)

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

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

Ченуштанова Т.А., доктор Ph.D, канд. техн. наук,
профессор

Yeneneh A.M., ассоц. профессор (Оман)

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

3	Колонка главного редактора
4	«Флотент Кемикалс» – 10 лет стабильного качества и новых решений в мире реагентов
	Геотехнология
6	<i>А. А. Бояндинова, *Ж. А. Адилханова</i> Методология обоснования выбора и условий эксплуатации карьерного автотранспорта
13	<i>Ж. М. Асанова, Ф. Муртазина, Н. Немова, *Р. А. Мусин</i> Технология повышения качества угля Шубаркольского месторождения
	Крепление горных выработок
19	<i>Т. М. Алменов, Р. К. Жанакоева, *Б. А. Сейтказынова, Atac Bascetin</i> Жерасты тау-кен қазбаларын бекітуге қолданылатын торкретбетон қоспасының рационалды құрамдары
	Геология
27	<i>А. I. Ibyrkhanova, *V. S. Portnov, G. Zh. Dosetova, A. A. Tretyakov</i> Ore potential of early devonian intrusions in the Sarysu-Teniz uplift
34	<i>А. Н. Копобаева, *Ә. Бақыт, А. Амангелдіқызы, В. В. Иванов</i> Орталық Қазақстанның көміріндегі және көмір күліндегі минералды қоспалар
43	<i>Е. Т. Бекшиев, *М. Е. Рахымбердина, E. Levin, A. K. Kapasov</i> Асубұлақ кен өрісінің геологиялық деректерін машиналық оқыту әдістерімен талдау
	Геодезия
50	<i>D. S. Ozhigin, V. N. Dolgonosov, *V. F. Yartseva, K. R. Galiullina</i> Remote sensing of industrial stockpiles under snow cover: methods and scientific challenges
56	<i>Г. К. Джангулова, О. С. Қурманбаев, Г. К. Байдаулетова, Э. Рубинов</i> Цифрлық технологиялардың интеграциясымен инженерлік құрылыстардың геодинамикалық процестерінің геодезиялық мониторингі
	Геомеханика
63	<i>T. K. Isabek, M. S. Usenbekov, *A. M. Khamze, A. R. Abdiev</i> Formation of methane collectors in the process of undermining and overmining coal seams
70	<i>Н. Ф. Низаметдинов, А. Б. Рахатова, З. Ж. Маматкулов, *М. Б. Игемберлина</i> Оценка состояния ограждающих дамб обогатительных фабрик на основе инструментального контроля
	Геохимия
77	<i>*Б. Б. Азалиева, С. А. Мусаканова, И. Е. Матайбаева, Е. А. Калиев</i> Арал өңірінің сорлары мен табиғи суларының литийлілігі
84	Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые члены редколлегии!*

В дни, когда мы, коллеги по профессии – геологи, горняки, обогатители, металлурги, строители, приобщенные к когорте людей, отвечающих перед своим народом за освоение недр, обеспечивая его необходимым количеством, видовым набором и экономически эффективным качеством металлов и других полезных ископаемых, готовились отпраздновать наш общий праздник – День металлурга, в «Комсомольской правде» за 15–22 июля 2026 г. была опубликована важная по экономической и экологической ценности и своевременности статья «Мусор как ресурс для инноваций».

Можно спорить о приоритетах в создании технологий и производственных предприятий по сбору, хранению и переработке отходами в управляемом формате, но вопрос реализации Концепции этой проблемы, намеченной на 2026–2030 гг., естественно, назрел, и своевременность принятых решений диктуется не тем, что они являются ресурсом для инноваций, а необходимостью создания действующей и управляемой всеобъемлющей системы нового вида производства, встроенного в экономические модели.

В публикации под авторством Е. Костенко охвачен весь круг вопросов (большинство из которых приходится рассматривать, к сожалению, с «нуля»), поэтому мне хотелось бы сказать еще об одной объективной реальности, напрямую связанной с освоением недр – нашим основным занятием, которая тоже связана с созданием будущих отходов производства.

Антропогенное преобразование природы в первую очередь по объемам дезинтеграционного или химико-агрегатного вмешательства в ее природное состояние требует, чтобы человек изменял и переделывал природу в желаемом направлении, руководствуясь обязательной необходимостью сохранения массива недр.

Человек же, поставив свои потребительские интересы абсолютным приоритетом, считая при этом, что минеральные ресурсы литосферы неисчерпаемы, оказался лицом к лицу с проблемой глобального экономического и экологического кризиса. Тенденция его необратимости может привести к полному исчерпанию экономически выгодного и безопасного источника производства металлов до глубины антропогенно-технических возможностей в 5 км в течение 30–150 лет в зависимости от вида металлов.

В то же время существуют источники накопления металлов, созданные техногенно, которые в своей сущности суммарно представляют собой часть природной несотворимой и неуничтожимой, вечной во времени и бесконечной в пространстве формы материи, находящейся в техногенно организованном движении.

Но, к сожалению, это движение в значительной своей части заканчивается в превращении отработавших свой амортизационный срок металлоконструкций, оборудования, агрегатов, механизмов в отходы, занимающих свое место на оборудованных или неконтролируемых свалках. Если говорить о стали, то ее движение вне недр в техногенном объеме переработанной железной руды выглядит так: мировое производство в год составляет 1,9–2,0 млрд тонн, из них как металлолом возвращается в новое употребление 760–800 млн тонн, остается в капитальных конструкциях нетронутыми в течение «вечности» 650–700 млн тонн (плотины, мосты, трубопроводы, железные дороги, оборудование длительной эксплуатации и т. д.) и 500 млн тонн ежегодно переходит в те самые свалки, которые на самом деле являются источником воспроизводства сырьевой базы в недрах.

Простой расчет, исходящий из такой статистики, показывает, что каждый год при обязательном возврате этих 500 млн тонн в новый (теоретически в бесконечный и с ежегодным увеличением, равным росту мировой потребности), которые с учетом извлечения при добыче руды (потери) и переработке будут увеличены на 25–30% минимально, оборот в недрах будет экономиться на 625–650 млн тонн железа в руде.

Снабжая человечество необходимым количеством стали бесперебойно, ежегодно искусственно увеличивать сырьевую базу, создавая таким образом новую институциональную модель природно-техногенной сырьевой базы всех металлов. При этом производственно-возвратный цикл взаимодействия природной (геологической) сырьевой среды недр с техногенной сырьевой среды «второй природы» вне недр создаст принцип «Созидательного освоения недр». Он будет действовать в формате ресурсовоспроизводства, ресурсосбережения и сохранения качественной природной среды.

Изложенное научное открытие казахстанских ученых, подтвержденное Международными дипломами, является предметом познания явлений и сущности природы, существующей, но неизвестной до сих пор и доступной проверке, представляющего достижение на уровне научно-технической революции одновременно в области геологии, горных наук и экономики.

Если объединить сущность проблемы, с отклика на решение которой мы начали публикацию этой колонки, с изложенным научным прорывом в области освоения недр, получится как раз то, о чем правильно говорил Е. Костенко: «Мусор тоже является ресурсом для инноваций».

Мы обещаем, что тема будет продолжена, т. к. следует описать нашу точку зрения по реализации сущности научной работы и организационные уровни ее решения.

С Днем металлурга, друзья! Впереди у нас в августе День шахтера.

«ФЛОТЕНТ КЕМИКАЛС» – 10 ЛЕТ СТАБИЛЬНОГО КАЧЕСТВА И НОВЫХ РЕШЕНИЙ В МИРЕ РЕАГЕНТОВ

Полная линейка реагентов для горнодобывающей отрасли, производственные площадки в России, США, Китае и Узбекистане, собственные разработки и ориентир на высокое качество – с таким насыщенным багажом компания «Флотент Кемикалс» в 2026 году подошла к своему 10-летию. За эти годы производитель завоевал репутацию надежного разработчика и производителя химических реагентов для добычи, обогащения, металлургии и очистки промышленных сточных вод.

Сегодня «Флотент Кемикалс» предлагает широкий спектр решений для флотации, выщелачивания и водоочистки, сопровождая проекты от лабораторных испытаний до промышленного внедрения. В продуктовом портфеле – собиратели, вспениватели, депрессоры, сульфидизаторы, флокулянты и продукты для водоочистки.

В числе заказчиков – предприятия цветной металлургии, золотодобычи, редких и редкоземельных металлов России и Центральной Азии. По итогам 2025 года объем поставок на рынок стран СНГ составил 4 тыс. тонн продукции.

Своим клиентам компания предлагает не просто решение, но и технологическое сопровождение при внедрении в производство. Специалисты «Флотент Кемикалс» участвуют в подборе реагентных режимов, проводят испытания в собственных лабораториях, адаптируют составы под конкретный тип руды и условия обогащательной фабрики. Это позволяет гарантировать стабильность продукта и достижение заявленных показателей извлечения.

В 2026 году компания выпускает на рынок новый продукт – гидроксаматы. Это реагенты для окисленных и



смешанных руд. По данным испытаний, их применение на смешанных рудах позволяет повышать извлечение ценных компонентов на 15–20% по сравнению с аналогами. Это дает возможность вовлекать в переработку огромные объемы окисленной массы и развивать проекты по добыче редких металлов.

В этом году расширяется линейка депрессоров, которые позволяют повысить селективность флотации сульфидных минералов. Так, депрессоры пирита Flotent DP-1 AGMA и Flotent DCDM – уже прошли лабораторные испытания и готовятся к промышленному внедрению. На предприятиях Казахстана и Киргизии работают успешно депрессоры углерода, которые решают проблему снижения потерь ценных компонентов при переработке углеродистых руд.

Также наращивается производство и выпуск бесцианидных реагентов для выщелачивания – линейки Flotent GL3G. Они позволяют отказаться от использования цианидов при извлечении золота и других металлов и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

«За 10 лет мы создали исчерпывающую линейку реагентов для горных предприятий. В своей работе мы руководствуемся высокими требованиями к составу, стабильности партии и экономической эффективности предприятия. В новое десятилетие мы входим с новыми планами, последовательно расширяя продуктовый портфель», – отметил Алексей Марфицин, генеральный директор «Флотент Кемикалс».





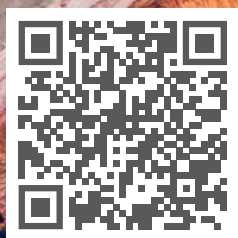
TECH MINING KAZAKHSTAN

7 октября 2026

4-я международная
конференция и выставка

Алматы

ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



kazakhstan.techmining.ru

Код МРНТИ 52.01.85

А. А. Бояндинова, *Ж. А. Адилханова

Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан)

МЕТОДОЛОГИЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА

Аннотация. В статье представлена методология обоснования выбора и условий эксплуатации карьерного автомобильного транспорта, основанная на применении метода вариантов, имитационного моделирования, системного анализа и технико-экономической оценки. В отличие от существующих подходов она обеспечивает комплексное принятие решений с учетом горнотехнических, технологических, организационных, эксплуатационных, экономических и экологических факторов. Методология учитывает не только технические характеристики самосвалов, но и их фактическое состояние, остаточную стоимость, затраты на техобслуживание и ремонт, а также влияние параметров транспортной сети на итоговые технико-экономические показатели. Ее основным преимуществом является высокая адаптивность к изменению условий эксплуатации и чувствительность к параметрам, определяющим эффективность работы экскаваторно-автомобильного комплекса.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, условия эксплуатации, карьер, методология, эффективность, оптимизация.

Карьерлік автокөліктерді тандау және пайдалану шарттарын негіздеу методологиясы

Андатпа. Мақалада карьерлік автомобиль тасымалының тандау және пайдалану шарттарын негіздеудің методологиясы ұсынылған, ол нұсқалар әдісін, имитациялық модельдеуді, жүйелік талдауды және технико-экономикалық бағалауды қолдануға негізделген. Қолданыстағы тәсілдерден айырмашылығы ол тау-кен техникалық, технологиялық, ұйымдастырушылық, пайдалану, экономикалық және экологиялық факторларды ескере отырып кешенді шешім қабылдауды қамтамасыз етеді. Методология тек қана самосвалдардың техникалық сипаттамаларын емес, сонымен бірге олардың нақты жағдайын, қалдық құнын, техникалық қызмет көрсету және жөндеу шығындарын, сондай-ақ көлік желісінің параметрлерінің соңғы технико-экономикалық көрсеткіштерге әсерін ескереді. Оның негізгі артықшылығы – пайдалану шарттарының өзгеруіне жоғары бейімделгіштік және экскаваторлық-автомобильдік кешеннің жұмыс тиімділігін анықтайтын параметрлерге сезімталдық болып табылады.

Түйінді сөздер: автомобиль көлігі, пайдалану шарттары, карьер, әдістеме, тиімділік, оңтайландыру.

Methodology for substantiation of the selection and operating conditions of open-pit's automobile transport

Abstract. This article presents a methodology for substantiating the selection and operating conditions of open-pit's automobile transport, based on the use of the options method, simulation modeling, systems analysis, and technical and economic assessment. Unlike existing approaches, it enables comprehensive decision-making, taking into account mining, technological, organizational, operational, economic, and environmental factors. The methodology takes into account not only the technical characteristics of trucks but also their actual condition, residual value, maintenance and repair costs, and the impact of transportation network parameters on the final technical and economic indicators. Its main advantage is its high adaptability to changing operating conditions and sensitivity to the parameters determining the performance of the excavator-truck system.

Key words: automobile transport, operating conditions, open-pit, methodology, efficiency, optimization.

Введение

Эффективность открытой разработки месторождений полезных ископаемых во многом определяется рациональной организацией транспортных процессов, в которых карьерный автомобильный транспорт играет ключевую роль. Увеличение глубины карьеров, усложнение горно-геологических и горнотехнических условий, а также повышение требований к эффективности эксплуатации обуславливают необходимость совершенствования методов выбора карьерных самосвалов и обоснования условий их эксплуатации.

Современное развитие систем управления карьерным автотранспортом связано с внедрением методов многокритериального анализа, математической оптимизации и цифрового моделирования для повышения эффективности принятия управленческих решений. Несмотря на существенный вклад рассмотренных исследований в развитие систем управления карьерным автотранспортом, анализ проведенных исследований показывает, что большинство предложенных подходов ориентировано на решение отдельных задач, таких как: выбор оборудования, оптимизация маршрутов, распределение самосвалов или прогнозирование отказов. При этом вопросы комплексного учета взаимосвязи горнотехнических, технологических, эксплуатационных, экономических и экологических факторов при выборе карьерного автотранспорта остаются недостаточно проработанными. В частности, в работах [1–2] основное внимание уделено многокритериальному выбору техники и вариантов разработки месторождений, однако недостаточно учитываются динамические изменения про-

изводственной обстановки, возникающие в процессе эксплуатации карьера. Исследования [3–5], несмотря на применение современных методов оптимизации, в основном ориентированы на решение задач транспортной логистики и требуют значительных вычислительных ресурсов, а также наличия большого объема достоверных оперативных данных, что ограничивает их практическое внедрение на предприятиях с невысоким уровнем цифровизации.

Вместе с тем исследования свидетельствуют о возрастающей роли цифровизации и интеллектуальных технологий в управлении карьерным транспортом [6–7]. Так, работа [6] направлена на прогнозирование технического состояния карьерных самосвалов, однако не рассматривает интеграцию результатов диагностики с алгоритмами оперативного распределения транспортных средств. Кроме того, существующие исследования в недостаточной степени учитывают неопределенность производственной среды, влияние человеческого фактора, случайные отказы оборудования и изменение внешних условий в режиме реального времени.

Таким образом, актуальной остается задача разработки методологии, обеспечивающей комплексное обоснование выбора карьерного автотранспорта и условий его эксплуатации с учетом изменяющихся параметров горных работ, технического состояния оборудования и требований к эффективности транспортного процесса. Предлагаемый подход должен обеспечивать возможность адаптации принимаемых решений к условиям изменяющихся горнотехнических и производственных условий и способствовать повышению производительности транспортной системы,

снижению эксплуатационных затрат и увеличению надежности работы карьерного автотранспорта.

Методы исследования

Методология выбора типа, режима и условий эксплуатации карьерного автомобильного транспорта основана на методе вариантов, предусматривающем формирование и сравнительную оценку альтернативных решений с учетом конкретных горнотехнических и производственных условий разработки месторождения. Данный подход позволяет определить рациональный вариант организации горно-транспортного процесса путем комплексного анализа факторов, влияющих на эффективность экскаваторно-автомобильного комплекса.

Метод выбора базируется на сочетании имитационного моделирования, системного подхода и комплексного метода экономической оценки эффективности работы экскаваторно-автомобильного комплекса [8]. Имитационное моделирование обеспечивает возможность исследования работы транспортной системы при изменении основных параметров горных работ: объемов перевозки, расстояния транспортирования, производительности оборудования, режимов работы и простоев производственной техники. Системный подход позволяет рассматривать экскаваторно-автомобильный комплекс как единую взаимосвязанную систему с учетом взаимодействия горного и транспортного оборудования.

Экономическая оценка предусматривает сравнение вариантов эксплуатации по показателям производительности, эксплуатационных затрат, расхода топлива, затрат на техническое обслуживание и ремонт. Комплексное применение указанных методов обеспечивает учет влияния внутренних и внешних факторов, повышает обоснованность выбора карьерного автотранспорта и позволяет определить рациональные условия его эксплуатации.

Результаты

В разрабатываемой методологии порядок выбора карьерного автотранспорта определяется условиями эксплуатации и может осуществляться в трех случаях: при воспроизводстве производственных мощностей горно-транспортного комплекса, на этапе реконструкции карьера с переоснащением или при строительстве нового карьера.

При воспроизводстве производственных мощностей основной задачей является не выбор нового типа или модели техники, а обоснование замены устаревших автосамосвалов. Данная замена может предусматривать как приобретение новой единицы техники, так и замену на оборудование с меньшим сроком эксплуатации при условии обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик. Ключевым аспектом данного метода является объективная оценка фактического технического состояния оборудования, основанная на учете затрат на техническое обслуживание и ремонт, а также оценке коэффициента полезного действия двигателя, определяемых по методике предложенной и апробированной в работах [9–10]. Решение о замене техники принимается на основе методики управления процессом воспроизводства производственных мощностей горно-транспортных систем карье-

ров, предусматривающей применение дифференциальной компьютерной диагностики технического состояния оборудования с использованием информационного программно-методического комплекса имитационного моделирования [8].

Среднестатистические значения КПД трансмиссии автосамосвалов (например, БелАЗ-7512) принимаются с учетом срока эксплуатации, возраста и наработки техники по установленным зависимостям или расчетным данным [9].

В процессе технико-экономического анализа состояния парка машин определяются основные характеристики оборудования: коэффициент полезного действия автосамосвала, эксплуатационные и капитальные затраты, а также необходимое для приобретения количество техники. Полученные параметры используются в качестве исходных данных для моделирования работы горно-транспортной системы и оценки вариантов ее развития.

Определение условий эксплуатации карьерных автосамосвалов основывается на учете комплекса внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на эффективность работы отдельных машин и транспортного комплекса в целом. В качестве внутренних условий эксплуатации рассматриваются параметры организации транспорта и состояние технологических дорог. Учет внешних условий эксплуатации имеет принципиальное значение, поскольку позволяет оценить соответствие выбранного оборудования конкретным параметрам горного предприятия уже на этапе его приобретения.

При учете организации транспорта формируются данные о структуре и геометрии автотрассы (однополосная или двухполосная, уклон дороги по участкам трассы), маршрутах автосамосвалов, вводятся скоростные ограничения, практикуемые на данном карьере в грузовом и порожняковом направлениях, вводится величина интервала движения по условиям безопасности движения машин, устанавливаются породопотоки, за которыми закрепляются те или иные маршруты, фиксируется принятая организация взаимодействия основного горного и транспортного оборудования и другие организационные меры, имеющие существенное влияние на эффективность работы горно-транспортного комплекса в целом. В структуре трассы выделяются технологически специализированные и имеющие геометрические особенности участки (площадки примыкания, призабойные, в пунктах разгрузки, площадки для пересменки и т. д.)

Величина остаточной стоимости машины так же, как и величина КПД трансмиссии, учитывает в себе и затраты на ремонты за весь период эксплуатации, поэтому учет данного фактора имеет принципиальное значение в разработанном методе управления процессом воспроизводства горно-транспортных систем карьеров [9].

По учету параметра «состояние технологических дорог» в случае замены устаревшего оборудования покрытие по качеству принимается существующее, однако могут быть проработаны и варианты с частичной или полной заменой покрытия дорог. Качественные характеристики дорожного полотна выражаются традиционно через величину удельного сопротивления качению.

Выбор скорости движения автосамосвала базируется на тяговых характеристиках автосамосвалов и алгоритме воспроизводства на модели машин процесса учета и расчета скоростей в зависимости от степени загрузки, направления (порожнее или грузовое) движения, скоростных ограничений, технического состояния, качества покрытия, уклона и структуры дорог. При оптимизации варьируются только скоростные ограничения при движении автосамосвала при постоянных прочих параметрах и организации.

Выбор режима загрузки автосамосвала практически идентичен, однако основной переменной является полезная масса автосамосвала. При этом учитываются физико-механические характеристики транспортируемых пород – плотность, коэффициент разрыхления и коэффициент наполнения кузова. В рамках этой процедуры могут быть рассмотрены варианты модифицированных автосамосвалов путем наращивания бортов кузова. На этапах реконструкции и строительства карьеров возможны проработки вариантов исполнения машин на заказ с измененными габаритами, что может позволить работать на более низких горизонтах с зауженными транспортными бермами и тем самым увеличить срок эксплуатации месторождений и снижение объемов вскрыши.

Расчет расхода топлива осуществляется на основе сменных показателей по автосамосвалам, полученных в результате моделирования, в базе выходных данных в автоматизированном режиме производится расчет общего и удельного показателей объемов расхода топлива, что позволяет использовать эти показатели в качестве вспомогательных критериев эффективности работы автосамосвалов в отдельности и парка машин в целом, а также учитывать затраты на топливо при подсчете удельных и общих текущих затрат по горно-транспортному комплексу. Сменный расход топлива по каждой машине определяется непосредственно в процессе имитационного моделирования согласно алгоритму расчета скоростей движения автосамосвалов исходя из их тяговых характеристик, режима и условий эксплуатации.

Учет параметра расхода шин процедурно практически аналогичен, однако в этом случае используются известные нормы расхода шин в зависимости от наработки машин за смену и стоимостные показатели самих шин. Сменная наработка машин определяется суммарных пробегом автосамосвала, который устанавливается по результатам имитационного моделирования.

Одним из важных элементов в современных условиях и исходя из требований политики устойчивого развития, является учет степени загазованности и запыленности в карьерном пространстве от рекомендуемого к эксплуатации автосамосвала. Поэтому осуществляется расчет экологических выбросов при рассмотрении вариантов на основе используемых норм запыления и загрязнения от организованных источников, каковыми являются автосамосвалы. Объем выбросов в атмосферу устанавливается по объему транспортных работ, скоростей движения транспортных средств, качества покрытия, объема и качества принимаемых мер на улучшение экологической обстановки в карьерном пространстве. Зная современные нормы отчисления за экологию и объем затрат на реализацию экологических

мероприятий, устанавливается объем затрат общих и удельных затрат на экологию, которые также учитываются при расчете себестоимости горно-транспортных работ. Помимо этого, зная нормы загрязнения в карьерном пространстве и срок на восстановление экологической ситуации, рассчитывается количество рабочих дней в рассматриваемом периоде, что отражается на производительности горно-транспортного комплекса за рассматриваемый период. Таким образом, в процессе обоснования выбора типов и моделей машин учитывается существенный экологический фактор.

Все рассмотренные процедуры не являются изолированными этапами, а реализуются во взаимосвязи с учетом конкретных условий эксплуатации и результатов анализа, полученных на каждом этапе исследования. Последовательность их выполнения определяется текущей производственной ситуацией и направлена на формирование оптимального варианта функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса. Итоговыми параметрами являются значения характеристик оборудования и условий его эксплуатации, соответствующие достижению общего критерия оптимальности – минимальной себестоимости горно-транспортных работ при обеспечении требуемой производительности комплекса.

Оптимальный вариант подвергается технико-экономическому анализу для выявления резервов повышения производительности горно-транспортного комплекса и снижения себестоимости его работы. При этом оцениваются загрузка и энергоемкость участков внутрикарьерных дорог, показатели эксплуатации каждого транспортного средства, а также причины простоев и неэффективного использования основного горного и транспортного оборудования. При выявлении ограничений в работе системы принимаются меры по их устранению или уменьшению степени их влияния на эффективность работы технологического комплекса, корректируются параметры модели, после чего выполняется повторная оценка эффективности комплекса.

При окончательном варианте, на последнем уровне рассмотрения варианта по первому этапу обоснования выбора транспортных средств, определяется экономический эффект в виде разницы в себестоимости горно-транспортных работ.

При обосновании выбора оборудования на втором этапе анализа и оценки эффективности работы экскаваторно-автомобильного комплекса важным моментом является учет затрат на сервисное обслуживание автосамосвалов. Так как эта цифра по каждому типу и модели автосамосвалов разная, то это естественно должно быть отражено в системе обоснования принятия решения. В данном случае, для установления затрат на сервисное обслуживание, рекомендуется пользоваться подходом, предложенным в работе [11]. Авторы предлагают это делать исходя из установленной зависимости между степенью и затратами на сервисное обслуживание автосамосвала за период. К примеру, согласно принятому при довольно хорошем уровне обслуживания 82% (для подшипников) общие затраты на приобретение, хранение запчастей и в связи с простоями от их отсутствия составляют около 4400 долл. США. При высоком уровне обслуживания (99,99%) стоимость возрастает почти в 3 раза. Так как каждый из типов и

моделей автосамосвалов имеет свою зависимость времени простоя машины от выхода из строя машинных узлов, то в процессе обоснования необходимо просчитывать общие затраты по каждому из видов и моделей автосамосвала за рассматриваемый период и далее вычитать эти затраты из предполагаемого дохода.

Расчет экономической эффективности вариантов выполняется двумя способами по обновленной методике, представленной в работе [8]. Первый способ предусматривает оценку результатов в пределах рассматриваемого года при заданной производительности горно-транспортного комплекса. В качестве исходных данных используются результаты имитационного моделирования, включая удельные эксплуатационные затраты, годовой объем добычи горной массы, расходы на приобретение шин, коэффициент вскрыши, цену товарной продукции, выход полезного компонента и плотность горной массы.

Во втором случае основным показателем является плановый показатель, демонстрирующий необходимый объем извлекаемой горной массы, который необходимо выполнить с наименьшими затратами. В рамках этого этапа производительность горно-транспортного комплекса за рассматриваемый период формируется на базе сменного показателя, полученного в процессе имитационного моделирования. Способ приведения сменного показателя к аналогичному показателю за период достаточно хорошо апробирован в работе [12]. Он обеспечивает высокой степени чувствительность основного критериального показателя эффективности работы экскаваторно-автомобильного комплекса в рассматриваемом периоде к влиянию всех существенных факторов, определяющих выбор карьерного транспортного оборудования, таких как техническое состояние машины, емкость ковша, скорость передвижения, расход топлива, численность машин в технологическом комплексе, режимы и условия их эксплуатации.

Такой подход позволяет оценить не только изменение себестоимости горно-транспортных работ, но и влияние принятых решений на экономические результаты предприятия и потенциальный доход от реализации продукции.

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают, что эффективный выбор карьерного автотранспорта возможен только при комплексном учете технических, технологических, эксплуатационных и экономических факторов. В отличие от исследований, в которых рассматриваются отдельные задачи, такие как: выбор оборудования, оптимизация параметров, мониторинг технологического процесса или прогнозирование технического состояния машин, предложенная методология объединяет эти аспекты в рамках единого подхода к обоснованию выбора техники и условий ее эксплуатации.

Использование метода вариантов в сочетании с имитационным моделированием позволяет рассматривать экскаваторно-автомобильный комплекс как единую взаимосвязанную производственную систему, эффективность которой определяется взаимодействием горного и транспортного оборудования, параметров транспортной сети, организации технологических процессов и условий экс-

плуатации техники. Такой подход исключает локальную оптимизацию отдельных элементов и обеспечивает согласованность принимаемых решений на уровне всего технологического комплекса.

Сравнение альтернативных вариантов эксплуатации выполняется с учетом производительности оборудования, эксплуатационных затрат, расхода топлива, затрат на техническое обслуживание и ремонт, а также других технико-экономических показателей, определяющих целесообразность применения выбранного варианта. Это позволяет выявлять резервы повышения производительности и снижения себестоимости горно-транспортных работ без увеличения количества техники. Вместе с тем эффективность предложенной методологии зависит от полноты и достоверности исходных данных, что определяет перспективность ее дальнейшего развития за счет интеграции цифрового мониторинга, предиктивной аналитики и интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Заключение

Разработанная методология обоснования выбора и условий эксплуатации карьерного автотранспорта представляет собой комплексный подход, объединяющий методы имитационного моделирования, системного анализа и технико-экономической оценки. В отличие от существующих решений предложенная методология обеспечивает согласованное принятие решений с учетом горнотехнических, технологических, организационных, эксплуатационных и экономических факторов.

Основным преимуществом разработанного подхода является его высокая адаптивность к изменению условий эксплуатации и чувствительность к параметрам, определяющим эффективность работы экскаваторно-автомобильного комплекса. Методология позволяет учитывать не только технические характеристики карьерных самосвалов, но и их фактическое техническое состояние, остаточную стоимость, затраты на техническое обслуживание и ремонт, а также влияние параметров транспортной сети и организации перевозок на конечные технико-экономические показатели.

Предлагаемый подход может быть использован при проектировании, реконструкции и эксплуатации карьеров, а также при обосновании выбора новых транспортных средств или модернизации существующего парка техники. Применение разработанной методологии обеспечивает повышение обоснованности принимаемых решений, адаптацию режима эксплуатации карьерного автотранспорта к конкретным условиям производства и создает основу для дальнейшей интеграции цифровых технологий и интеллектуальных систем поддержки принятия решений в процессы управления горно-транспортными комплексами.

Благодарность

Данная статья финансировалась Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан по ПЦФ BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методология проектирования многокритериальной системы для выбора самосвалов для открытых карьеров / A. Rakhmangulov [и др.] // *Sustainability*. – 2024. – Т. 16. – Ст. 863 (на английском языке)
2. Выбор оптимального варианта эксплуатации с использованием цифровой модели месторождения и метода аналитической иерархии / E. J. Sobczyk [и др.] // *Resources Policy*. – 2022. – Т. 78. – Ст. 102952 (на английском языке)
3. Интегрированная архитектура для оптимизации распределения грузовиков по фиксированным позициям на открытых рудниках: синергетическая оптимизация, гибридное моделирование и многоцелевая оптимизация / Hongyang Xu [и др.] // *Applied Energy*. – 2026. – Т. 404. – Ст. 127170 (на английском языке)
4. Ali Moradi Afrapoli, Mohammad Tabesh, Hooman Askari-Nasab. Многоцелевой подход к решению транспортной задачи с учетом динамического распределения грузовых автомобилей на открытых разработках // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Т. 276. – Вып. 1. – С. 331–342 (на английском языке)
5. Методология решения задач распределения грузовых автомобилей с учетом динамических условий в карьерах: пример медного рудника Сунгун / A. Moniri-Morad [и др.] // *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. – 2019. – С. 57–65 (на английском языке)
6. Сетевая платформа автоматизации прогнозирования отказов карьерных самосвалов / И. В. Зырянов [и др.] // *Горная промышленность*. – 2024. – № 3. – С. 56–63 (на русском языке)
7. Aquino E. D. R., Girao Sotomayor J. M., Navarro-Torres V. F. Уточнение геотехнических параметров с помощью 3D-геотехнического моделирования для повышения надежности планирования горных работ // *Mining Technology Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*. – 2024. – Т. 133. – Вып. 1. – С. 74–85 (на английском языке)
8. Бояндинова А. А., Адилханова Ж. А. Научно-методическое обеспечение геоинформационных систем технологического менеджмента на карьерах: монография. – Алматы, 2020. – 210 с. (на русском языке)
9. Бояндинова А. А. Разработка метода оперативного планирования и управления процессом воспроизводства мощностей горно-транспортных систем карьеров: дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 2002. – 165 с. (на русском языке)
10. Бояндинова А. А., Адилханова Ж. А. Совершенствование информационно-аналитического обеспечения управления воспроизводством мощностей горно-транспортных комплексов карьеров // *Горный журнал Казахстана*. – 2026. – № 6 (254). – С. 11–16 (на русском языке)
11. Гордон Д. М., Квитка В. В. Система управления предприятиями горной промышленности // *Горный журнал*. – 2005. – № 3. – С. 28–31 (на русском языке)
12. Адилханова Ж. А. Разработка методического обеспечения корпоративного оперативного планирования горно-транспортных работ при управлении геотехнологическими комплексами: дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 2009. – 118 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ашық карьерлер үшін самосвалдарды таңдау мақсатындағы көпкритериалды жүйені жобалау әдістеме / A. Rakhmangulov [және т. б.] // *Sustainability*. – 2024. – Т. 16. – 863 (ағылшын тілінде)
2. Sobczyk E. J., Galica D., Korasz M., Sobczyk W. Цифрлық кен орны моделін және аналитикалық иерархия әдісін пайдалана отырып, пайдалану үшін оңтайлы нұсқаны таңдау // *Resources Policy*. – 2022. – Т. 78. – 102952 (ағылшын тілінде)
3. Ашық кен орындарында жүк көліктерін белгілі позицияларға бөліп орналастыруды оңтайландыруға арналған интеграцияланған архитектура: синергетикалық оңтайландыру, гибридік модельдеу және көпмақсатты оңтайландыру / Hongyang Xu [және т. б.] // *Applied Energy*. – 2026. – Т. 404. – 127170 (ағылшын тілінде)
4. Ali Moradi Afrapoli, Mohammad Tabesh, Hooman Askari-Nasab. Жүк көліктерін ашық кен орындарында динамикалық таралуын ескере отырып, көлік мәселесін шешуге арналған көпмақсатты тәсіл // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Т. 276. – Шығ. 1. – Б. 331–342 (ағылшын тілінде)
5. Шоқжарлардағы динамикалық жағдайларды ескере отырып, жүк көліктерін бөлу мәселелерін шешу әдістемесі: Сунгун мыс кенішінің мысалы / A. Moniri-Morad [және т. б.] // *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. – 2019. – Б. 57–65 (на английском языке)
6. Карьерлік самосвалдардың ақауларын болжауды автоматтандыру желілік платформасы / Зырянов И. В. [және т. б.] // *Тау-кен өнеркәсібі*. – 2024. – № 3. – Б. 56–63 (орыс тілінде)
7. Aquino E. D. R., Girao Sotomayor J. M., Navarro-Torres V. F. Тау-кен жұмыстарын жоспарлаудың сенімділігін арттыру үшін 3D геотехникалық модельдеу арқылы геотехникалық параметрлерді

- нақтылау // *Mining Technology Transactions of the institutions of Mining and Metallurgy*. – 2024. – Т. 133. – Шығ. 1. – Б. 74–85 (ағылшын тілінде)
8. Бояндинова А. А., Әділханова Ж. А. Карьерлердегі технологиялық менеджменттің геоақпараттық жүйелерін ғылыми-әдістемелік қамтамасыз ету: монография. – Алматы, 2020. – 210 б. (орыс тілінде)
 9. Бояндинова А. А. Карьерлердің тау-кен көлік жүйелері қуаттарының ұдайы өндірісі процесін жедел жоспарлау және басқару әдісін әзірлеу: техн. ғыл. канд. ... дис. – Алматы, 2002. – 165 б. (орыс тілінде)
 10. Бояндинова А. А., Әділханова Ж. Ә. Карьерлердің тау-кен-көлік кешендерінің қуаттарын басқаруды ақпараттық қамтамасыз етуді жетілдіру // *Қазақстанның кен журналы*. – 2026. – № 6 (254). – Б.11–16 (орыс тілінде)
 11. Гордон Д. М., Квитка В. В. Тау-кен өнеркәсібі кәсіпорындарын басқару жүйесі // *Кен журналы*. – 2005. – № 3. – Б. 28–31 (орыс тілінде)
 12. Әділханова Ж. Ә. Геотехнологиялық кешендерді басқару кезінде тау-кен көлік жұмыстарын корпоративтік жедел жоспарлауды әдістемелік қамтамасыз етуді әзірлеу: техн. ғыл. канд. ... дис. – Алматы, 2009. – 118 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Multi-Criteria System's Design Methodology for Selecting Open Pits Dump Trucks / A. Rakhmangulov et al. // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16. – Article 863 (in English)
2. Selecting the optimal exploitation option using a digital deposit model and the AHP / E. J. Sobczyk et al. // *Resources Policy*. – 2022. – Vol. 78. – Article 102952 (in English)
3. An integrated architecture for fixed truck assignment optimization in open-pit mines: Synergistic optimization, hybrid modeling, and multi-objective optimization / Hongyang Xu et al. // *Applied Energy*. – 2026. – Vol. 404. – Article 127170 (in English)
4. Ali Moradi Afrapoli, Mohammad Tabesh, Hooman Askari-Nasab. A multiple objective transportation problem approach to dynamic truck dispatching in surface mines // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Vol. 276. – Issue 1. – P. 331–342 (in English)
5. Methodology for Truck Allocation Problems Considering Dynamic Circumstances in Open Pit Mines, case study of the Sungun copper mine / A. Moniri-Morad et al. // *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. – 2019. – P. 57–65 (in English)
6. Setevaiia platforma avtomatizatsii prognozirovaniia otkazov kar'ernykh samosvalov [Network platform for automation of failure prediction of quarry dump trucks] I. V. Zyryanov et al. *Gornaja promyshlennost'* [Mining industry]. – 2024. – No. 3. – P. 56–63 (in Russian)
7. Aquino E. D. R., Girao Sotomayor J. M., Navarro-Torres V. F. Qualification of geotechnical parameters with 3D geotechnical modelling to improve mine planning reliability // *Mining Technology Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*. – 2024. – Vol. 133. – Issue 1. – P. 74–85 (in English)
8. Boyandinova, A.A., Adilkhanova, Zh.A. Nauchno-metodicheskoe obespechenie geoinformatsionnykh sistem tekhnologicheskogo menedzhmenta na kar'erakh [Scientific and Methodological Support of Geoinformation Systems for Technological Management at Open-Pit Mines]. Monograph. Almaty, 2020. 210 p. (in Russian)
9. Boyandinova, A.A. Razrabotka metoda operativnogo planirovaniia i upravleniia protsessom vosproizvodstva moshchnosti gorno-transportnykh sistem kar'erov [Development of a Method for Operational Planning and Management of the Reproduction Process of Mining and Transport System Capacities of Open-Pit Mines]: dis. ... Cand. Tech. Sci. Almaty, 2002. 165 p. (in Russian)
10. Boyandinova A. A., Adilkhanova Zh. A. Sovershenstvovanie informatsionno-analiticheskogo obespecheniia upravleniia vosproizvodstvom moshchnosti gorno-transportnykh kompleksov kar'erov [Improving Information and Analytical Support for Managing the Reproduction of Capacities of Mining and Transport Complexes of Open-Pit Mines]. *Gornyi Zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan]. – 2026. – No. 6 (254). – P. 11–16 (in Russian)
11. Gordon D. M., Kvitka V. V. Sistema upravleniia predpriiatiiami gornoj promyshlennosti [Management System of Mining Industry Enterprises]. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal]. – 2005. – No. 3. – P. 28–31 (in Russian)
12. Adilkhanova Zh. A. Razrabotka metodicheskogo obespecheniia korporativnogo operativnogo planirovaniia gorno-transportnykh rabot pri upravlenii geotekhnologicheskimi kompleksami [Development of Methodological Support for Corporate Operational Planning of Mining and Transport Operations in the Management of Geotechnological Complexes]: dis. ... Cand. Tech. Sci. – Almaty, 2009. – 118 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Бояндинова А. А., д. т. н., доцент, ученый секретарь Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан), A.Boyandinova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5197-4599>

Адилханова Ж. А., к. т. н., гл. научный сотрудник Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан), Zhanna_mark10@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2637-4006>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бояндинова Ә. Ә., т. ғ. д., доцент, «ҚР ҰК МҚК» РМК «Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты» филиалының ғылыми хатшысы (Алматы қ., Қазақстан)

Әділханова Ж. А., т. ғ. к., «ҚР ҰК МҚК» РМК «Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты» филиалының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Boyandinova A. A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Secretary of the «Institute of Mining named after D. A. Kunayev» Branch of the «NC CPMS RK» RSE (Almaty, Kazakhstan)

Adilkhanova Zh. A., Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher of the «Institute of Mining named after D. A. Kunayev» Branch of the «NC CPMS RK» RSE (Almaty q., Kazakhstan)



ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РОССИЯ

www.techmining.ru

8-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

**СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

15 сентября
2026

Москва

Swissôtel Красные Холмы Москва



Код МРНТИ 52.13.17:52.01.81

Ж. М. Асанова¹, Ф. Муртазина¹, Н. Немова², *Р. А. Мусин¹

¹Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),

²Институт горного дела Сибирское отделение Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия)

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УГЛЯ ШУБАРКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследований по управлению качеством угля месторождения Шубарколь. Объект работы – пласты 2V и 1V, характеризующиеся низкой зольностью и высокой теплотворной способностью. Основное внимание уделено применению циклично-поточной технологии, селективной выемки и пневмосепарации. Установлено, что внедрение данных технологий позволяет снизить вариацию зольности, обеспечить более равномерное усреднение угольной массы и повысить коэффициент извлечения. Испытания установок сухой пневмосепарации подтвердили возможность снижения зольности до 9–11% при выходе концентрата до 60%. Дополнительным преимуществом является брикетирование угольной мелочи, что обеспечивает полное использование сырья и улучшает экологию. Экономика показывает, что внедрение комплекса технологий увеличивает рыночную стоимость угля более чем в 2 раза и снижает себестоимость на 15–20%.

Ключевые слова: уголь, Шубаркольское месторождение, зольность, циклично-поточная технология, селективная выемка, пневмосепарация, угольная мелочь, брикетирование, экономическая эффективность.

Шубаркөл кен орнындағы көмір сапасын жақсарту технологиясы

Аңдатпа. Мақалада Шубаркөл кен орнындағы көмір сапасын басқару зерттеулерінің нәтижелері қарастырылған. Зерттеу нысаны – төмен күлділігі және жоғары жылу сыйымдылығымен ерекшеленетін 2V және 1V қабаттары. Негізгі назар циклдiк-ағын технологиясын, селективті өндіруді және пневмосепарацияны қолдануға аударылған. Бұл технологияларды енгізу күлдік көрсеткішті азайтуға, көмір массасының біркелкілігіне қол жеткізуге және өндіру коэффициентін арттыруға мүмкіндік беретіні анықталды. Құрғақ пневмосепарация қондырғыларын сынау кезінде концентраттың түсімі 60%-ға дейін болғанда күлдік 9–11%-ға дейін төмендейтіні расталды. Тiмдiлiктi арттырудың қосымша жолы – көмір ұнтағын брикеттеу, бұл шикізатты толық пайдалануға мен экологияны жақсартуға мүмкіндік береді. Экономикалық есептеулер бойынша, технологиялар кешенін енгізу көмірдің құнын 2 еседен астам арттырып, өзіндік құнын 15–20%-ға төмендетеді.

Түйінді сөздер: көмір, Шубаркөл кен орны, күлділік, циклдiк-ағын технологиясы, селективті өндіру, пневмосепарация, көмір ұнтағы, брикеттеу, экономикалық тиімділік.

Technology for improving the quality of coal at the Shubarkol deposit

Abstract. The article presents research results on coal quality management at the Shubarkol deposit. The study focuses on seams 2V and 1V, characterized by low ash content and high calorific value. Main attention is given to the application of cyclic-flow technology, selective mining, and pneumatic separation. It was found that implementing these technologies reduces ash variability, ensures more uniform coal mass homogenization, and increases the recovery rate. Tests of dry pneumatic separation units confirmed the possibility of reducing ash content to 9–11% with a concentrate yield of up to 60%. An additional advantage is briquetting fine coal, which ensures full raw material utilization and improves environmental performance. Economic analysis shows that introducing the technology complex more than doubles the coal's market value and reduces production costs by 15–20%.

Key words: coal, Shubarkol deposit, ash content, cyclic-flow technology, selective mining, pneumo-separation, coal fines, briquetting, economic efficiency.

Введение

Угольная промышленность остается одним из ключевых элементов топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан. Доля угольной генерации в энергобалансе страны превышает 70%, что определяет высокую зависимость экономики от добычи и переработки угля [1]. В то же время развитие мировой энергетики характеризуется тенденцией к сокращению доли угля в пользу «зеленых» источников энергии, что сопровождается ужесточением требований к качеству и экологическим характеристикам угольного сырья [2–3].

Для Казахстана данная проблема имеет двойственный характер. С одной стороны, уголь остается наиболее доступным и широко используемым топливом в электроэнергетике и металлургии. С другой стороны, низкое качество части добываемых углей, прежде всего Экибастузского бассейна с их высокой зольностью (35–45%), ограничивает возможности экспорта и снижает конкурентоспособность продукции [4]. В этих условиях особый интерес представляет Шубаркольское месторождение, угли которого отличаются низкой зольностью и высокой теплотворной способностью, что делает их перспективными для металлургических целей [5].

В мировой практике качество угля обеспечивается применением селективной выемки, систем усреднения в потоке, сухой и мокрой сепарации [6–7]. В последние годы все большее распространение получают технологии пневматической сепарации, позволяющие снижать зольность угля до 9–11% без использования водных ресурсов, что особенно актуально

для регионов с ограниченными запасами воды [8–9].

В Казахстане вопросы совершенствования технологий добычи и переработки угля приобретают стратегический характер. Для угольных предприятий важна не только добыча в необходимых объемах, но и стабилизация качества продукции в соответствии с требованиями потребителей, включая металлургические комбинаты и энергетические предприятия [10].

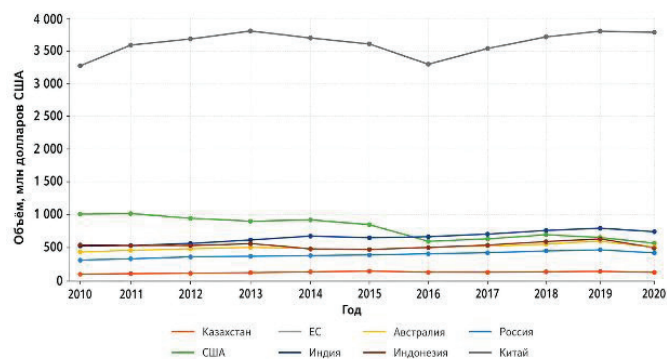
Цель исследования заключается в комплексной оценке влияния применяемых на Шубаркольском месторождении технологий – циклично-поточной схемы разработки, селективной выемки, пневматической сепарации и брикетирования угольной мелочи – на показатели качества угля и экономическую эффективность его использования.

Для достижения цели решались следующие задачи:

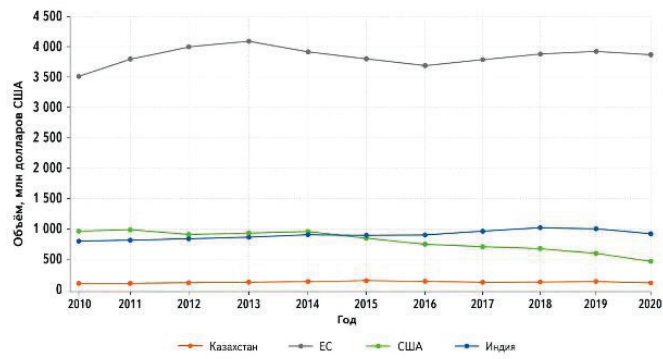
- анализ геолого-технических условий разработки месторождения и особенностей угольных пластов;
- исследование влияния циклично-поточной технологии и селективной выемки на качество угля;
- оценка эффективности пневматической сепарации и ее влияния на снижение зольности;
- изучение перспектив комплексного использования угольной мелочи путем ее брикетирования;
- проведение экономической оценки внедряемых технологий.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является уголь Шубаркольского месторождения, расположенного в Центральном



а



б

Рис. 1. Мировые лидеры по добыче и потреблению угля (млн т). а – добыча; б – потребление.
Сурет 1. Көмір өндірісі мен тұтыну бойынша әлемдік көшбасшылар (млн т). а – өндіріс; б – тұтыну.
Figure 1. World leaders in coal production and consumption (million tons). а – production; б – consumption.

Казахстане. Месторождение характеризуется пластами различной мощности и выдержанности, среди которых основными промышленными являются пласты 2V и 1V. Эти пласты отличаются сравнительно низкой зольностью (5–8% при селективной выемке) и высокой теплотворной способностью, что делает их перспективными для использования в металлургической промышленности [11].

Исследования проводились в несколько этапов. На первом этапе был выполнен анализ геолого-технических условий разработки, включая строение угольных пластов, мощность прослоев пустых пород и степень их выдержанности [12]. Второй этап включал изучение влияния циклично-поточной технологии (ЦПТ) на сохранение качества угля. Оценивалась эффективность применения дробильно-сортировочных комплексов и транспортных схем в обеспечении усреднения и минимизации потерь.

Особое внимание уделялось селективной выемке, которая применяется на участках с тонкими прослоями пустых пород. Для оценки ее влияния на качество угля проводились расчеты коэффициентов потерь и загрязнения, а также анализ результатов сортировки продукции по фракциям [11].

На третьем этапе исследовались возможности пневматической сепарации угля. Испытания проводились на опытных установках типа СЕПАИР, где определялась эффективность снижения зольности в зависимости от плотности угольных частиц. Дополнительно выполнялась оценка распределения классов угля по плотностям с целью обоснования выбора режимов сепарации [8–9].

Четвертый этап включал лабораторные испытания углей на измельчаемость, размокаемость и термостойкость. Эти показатели рассматривались как важные факторы при определении перспектив их использования в металлургии и энергетике [11].

На заключительном этапе была проведена экономическая оценка внедрения технологий управления качеством угля. Сравнивались варианты традиционной добычи и обработки с технологиями, включающими пневмосепарацию и брикетирование угольной мелочи. Анализ выполнялся по показателям себестоимости, рыночной стоимости угля и коэффициенту использования добытого сырья [12].

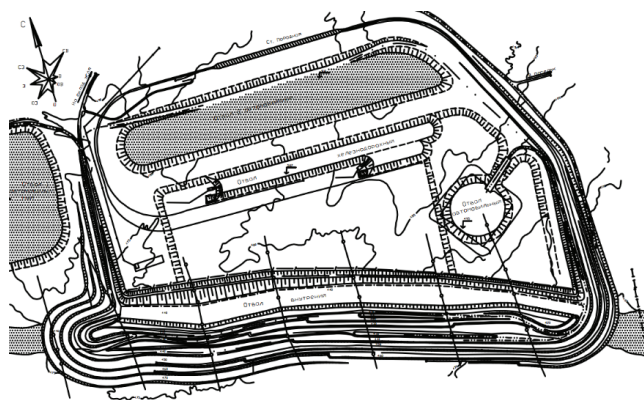


Рис. 2. Схема вскрытия Шубаркольского месторождения.

Сурет 2. Шұбаркөл кен орнын ашу сұлбасы.
Figure 2. Scheme of Shubarkol deposit development.

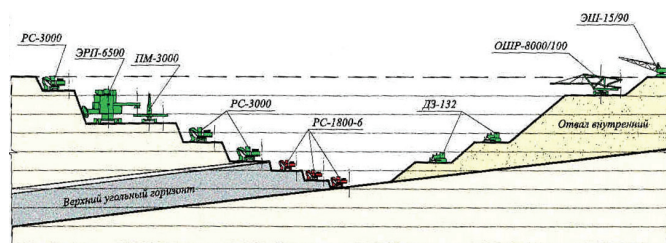


Рис. 3. Принципиальная схема ведения горных работ на Шубаркольском месторождении.

Сурет 3. Шұбаркөл кен орнында тау-кен жұмыстарын жүргізудің принциптік схемасы.

Figure 3. Principal scheme of mining operations at the Shubarkol deposit.

Влияние циклично-поточной технологии на качество угля

Анализ работы дробильно-сортировочных комплексов показал, что внедрение циклично-поточной технологии (ЦПТ) способствует снижению потерь и повышению однородности добываемого угля. За счет сокращения транспортных плеч и оптимизации усреднения удалось умень-

шить вариацию зольности в партии с $\pm 4\%$ до $\pm 2\%$. Дополнительным эффектом стало снижение разубоживания угля при транспортировке и погрузке.

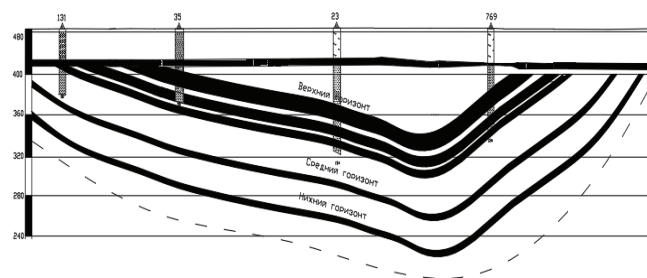


Рис. 4. Продольный разрез Шубаркольского месторождения.

Сурет 4. Шұбарқол кен орнының ұзындығына бойы қимасы.

Figure 4. Longitudinal section of the Shubarkol deposit.

Результаты применения селективной выемки

В условиях Шубаркольского месторождения селективная отработка пластов мощностью более 0,3 м позволила существенно повысить качество угля. Установлено, что при раздельной выемке угля и пустых пород средняя зольность снижается на 5–8%, а коэффициент извлечения увеличивается на 6–9%. Эти результаты подтверждают эффективность метода в обеспечении стабильных параметров товарного угля для металлургии.



Рис. 5. Разработка месторождения Шубарколь.

Сурет 5. Шұбарқол кен орнын игеру.

Figure 5. Development of the Shubarkol deposit.

Эффективность пневматической сепарации

Испытания установок сухой пневмосепарации типа СЕ-ПАИР показали высокую эффективность разделения угля по плотности. Зольность концентрата снижалась с исходных 22–32% до 9–11% при выходе до 60%, что согласуется с результатами аналогичных исследований. Зольность хвостов достигала 70–80%, что подтверждает возмож-

ность их использования в качестве отходов для рекультивации или вторичного сырья.

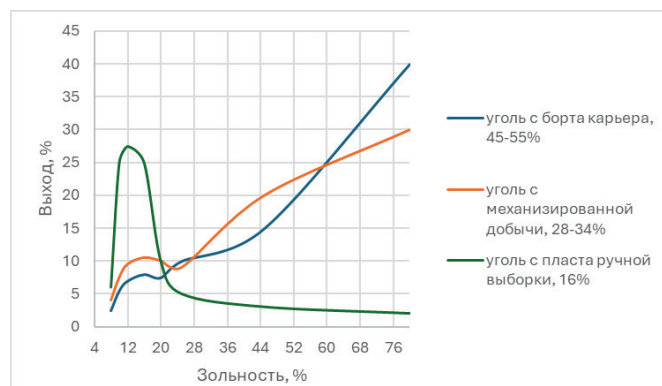


Рис. 6. Кривые эффективности применения сухой сепарации СЕПАИР.

Сурет 6. СЕПАИР құрғақ сепарациясының тиімділік қисықтары.

Figure 6. Efficiency curves of dry separation using SEPAIR.

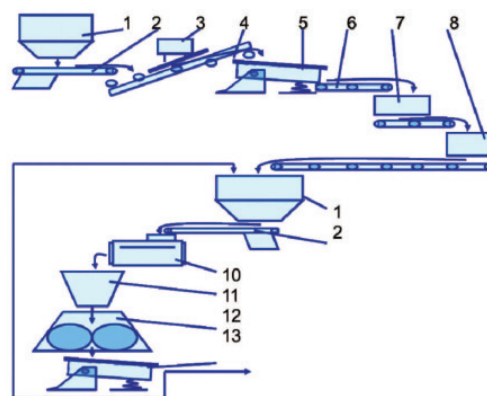


Рис. 7. Технологическая схема производства угольных брикетов: 1 – приемный бункер; 2 – питатель электровибрационный; 3 – грузоподъемный магнит; 4 – конвейер ленточный; 5 – грохот; 6 – конвейер ленточный; 7 – дробилка валковая; 8 – дробилка молотковая; 9 – конвейер ленточный; 10 – смеситель; 11 – бункер со шнековым питателем; 12 – пресс валковый; 13 – грохот.

Сурет 7. Көмір брикеттерін өндірудің технологиялық схемасы: 1 – қабылдау бункері; 2 – электровибрациялық бергіш; 3 – көтергіш магнит; 4 – таспа конвейері; 5 – сита (грохот); 6 – таспа конвейері; 7 – роликті ұсатқыш; 8 – балға ұсатқыш; 9 – таспа конвейері; 10 – араластырғыш; 11 – шнекпен берілетін бункер; 12 – роликті пресс; 13 – сита (грохот).

Figure 7. Technological scheme of coal briquette production: 1 – receiving bunker; 2 – electro-vibratory feeder; 3 – lifting magnet; 4 – belt conveyor; 5 – screen (grizzly); 6 – belt conveyor; 7 – roller crusher; 8 – hammer crusher; 9 – belt conveyor; 10 – mixer; 11 – bunker with screw feeder; 12 – roller press; 13 – screen (grizzly).

Обсуждение

Применение автоматизированных систем управления позволило сократить потребность в ручном контроле и стабилизировать работу сепарационных установок, обеспечивая непрерывность потока угля.

Использование угольной мелочи и брикетирование

Одним из направлений повышения эффективности переработки угля является комплексное использование угольной мелочи. Проведенные испытания показали, что прессование угольной мелочи в топливные брикеты позволяет получить продукт с более высокой теплотворной способностью и низкой влажностью [7].

При сжигании брикетов отмечено снижение выбросов SO_2 и твердых частиц на 15–20%, что соответствует мировым тенденциям экологизации топливно-энергетического комплекса [8].

Экономическая эффективность

Экономическая оценка внедрения технологий показала, что снижение зольности угля приводит к росту его рыночной стоимости более чем в два раза. Дополнительный эффект обеспечивается за счет сокращения объемов транспортировки некондиционного сырья и повышения коэффициента использования угольной массы.

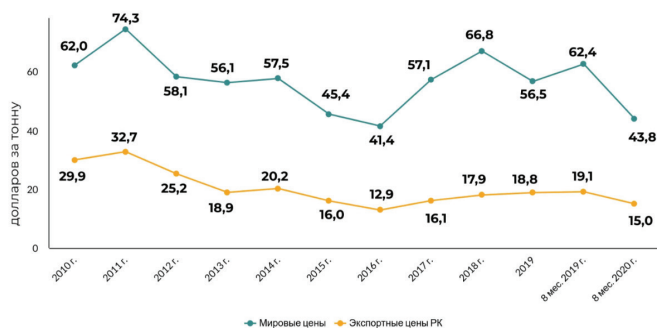


Рис. 8. Динамика цен на казахстанский уголь на мировом рынке.

Сурет 8. Қазақстан көмірінің әлемдік нарықтағы баға динамикасы.

Figure 8. Price dynamics of Kazakhstan coal in the global market.

При переработке угольной мелочи в брикеты себестоимость условной тонны топлива снижается на 15–20%, а общая рентабельность предприятия возрастает на 8–12%. Эти показатели подтверждают высокую экономическую

целесообразность внедрения пневмосепарации и брикетирования в производственные схемы.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили, что качество угля Шубаркольского месторождения во многом определяется применяемыми технологиями добычи и переработки. Внедрение циклично-поточной технологии позволило снизить вариацию показателей зольности и обеспечить более равномерное усреднение продукции. Селективная выемка пластов мощностью более 0,3 м доказала свою эффективность в снижении зольности на 5–8% и повышении коэффициента извлечения угля.

Испытания установок сухой пневмосепарации продемонстрировали возможность получения концентрата с зольностью 9–11% при выходе до 60%, что позволяет значительно расширить сферы применения угля, включая металлургическую промышленность. Полученные данные сопоставимы с результатами мировых исследований и подтверждают перспективность внедрения метода в условиях Центрального Казахстана.

Брикетирование угольной мелочи рассматривается как дополнительное направление комплексного использования минерального сырья. Экспериментально установлено, что прессованные угольные брикеты обладают более высокой теплотворной способностью, пониженной влажностью и обеспечивают снижение выбросов загрязняющих веществ при сжигании.

Экономическая оценка показала, что совмещение технологий ЦПТ, селективной выемки, пневмосепарации и брикетирования обеспечивает рост рыночной стоимости продукции более чем в два раза и снижает себестоимость условной тонны топлива на 15–20%.

Таким образом, предложенный комплекс технологических решений позволяет не только повысить конкурентоспособность угля Шубаркольского месторождения на внутреннем и внешнем рынках, но и улучшить экологические показатели производства. Полученные результаты могут быть использованы при разработке рекомендаций для угольных предприятий Казахстана, ориентированных на модернизацию технологических схем и повышение качества угольной продукции.

Благодарность

Данное исследование выполнено при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной и научно-технической программы ИРН № BR24993009.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов В. Н. Геомеханика подземных выработок. – М.: Недра, 2018. – 412 с. (на русском языке)
2. Ярославцев А. Г. Применение электроразведки в угольных шахтах // Уголь. – 2022. – № 5. – С. 37–44 (на русском языке)
3. BP Statistical Review of World Energy 2022. – Лондон: BP p.l.c., 2022. – 68 с. (на английском языке)
4. Международное энергетическое агентство (IEA). Уголь 2021: анализ и прогноз до 2024 года. – Париж: OECD/IEA, 2021. – 153 с. (на английском языке)
5. Varfolomeev I., Shadrina E. Качество угля и экологические аспекты добычи // Journal of Mining Science. – 2019. – Т. 55. – № 3. – С. 437–447 (на английском языке)

6. Zhang D., Wang Y. Экспериментальное исследование выделения газа из угольных пластов // *Fuel*. – 2019. – Т. 254. – С. 115–128 (на английском языке)
7. Liu Q., Song J. Технология контроля газа на шахтах с высоким содержанием газа // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2022. – Т. 101. – С. 103–116 (на английском языке)
8. Национальный доклад KAZENERGY 2015. – Астана: KAZENERGY, 2015. – С. 213–214 (на русском языке)
9. Zhang J., Li H. Применение технологии сухой подготовки угля // *Minerals Engineering*. – 2021. – Т. 169. – С. 106–117 (на английском языке)
10. АО «Шубарколь комир». Годовой отчет за 2020 год. – Караганда, 2021. – 145 с. (на русском языке)
11. Мельников Н. В., Журавлев В. А. Селективная выемка углей в условиях Казахстана // *Горный журнал*. – 2019. – № 10. – С. 34–40 (на русском языке)
12. Варгольских А. А. Численные методы в геомеханике. – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 332 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кузнецов В. Н. Жерасты кен қазбаларының геомеханикасы. – Мәскеу: Недра, 2018. – 412 б. (орыс тілінде)
2. Ярославцев В. Н. Көмір шахталарында электрлік барлауды қолдану // *Көмір*. – 2022. – № 5. – Б. 37–44 (орыс тілінде)
3. BP Statistical Review of World Energy 2022. – Лондон: BP p.l.c., 2022. – 68 б. (ағылшын тілінде)
4. Халықаралық энергетика агенттігі (IEA). Көмір 2021: 2024 жылға дейінгі талдау және болжам. – Париж: OECD/IEA, 2021. – 153 б. (ағылшын тілінде)
5. Варфоломеев И., Шадрин Е. Көмірдің сапасы және кен өндірудің экологиялық аспектілері // *Journal of Mining Science*. – 2019. – Т. 55. – № 3. – Б. 437–447 (ағылшын тілінде)
6. Zhang D., Wang Y. Көмір қабатындағы газ бөлінуінің эксперименттік зерттеуі // *Fuel*. – 2019. – Т. 254. – Б. 115–128 (ағылшын тілінде)
7. Liu Q., Song J. Жоғары газды шахталардағы газды бақылау технологиясы // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2022. – Т. 101. – Б. 103–116 (ағылшын тілінде)
8. KAZENERGY ұлттық баяндамасы 2015. – Астана: KAZENERGY, 2015. – Б. 213–214 (орыс тілінде)
9. Zhang J., Li H. Құрғақ көмір байыту технологиясын қолдану // *Minerals Engineering*. – 2021. – Т. 169. – Б. 106–117 (ағылшын тілінде)
10. «Шұбаркөл көмір» АҚ. 2020 жылға арналған жылдық есеп. – Қарағанды, 2021. – 145 б. (орыс тілінде)
11. Мельников Н. В., Журавлев В. А. Қазақстан жағдайында көмірдің селективті өндірілуі // *Тау-кен журналы*. – 2019. – № 10. – Б. 34–40 (орыс тілінде)
12. Вагольских А. А. Геомеханикадағы сандық әдістер. – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 332 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Kuznetsov V. N. [Geomechanics of Underground Workings]. – Moscow: Nedra, 2018. – 412 p. (in Russian)
2. Yaroslavtsev V. N. Primenenie elektrorazvedki v ugol'nykh shakhtakh [Application of Electrical Prospecting in Coal Mines]. *Ugol' [Coal]*. – 2022. – No. 5. – P. 37–44 (in Russian)
3. BP Statistical Review of World Energy 2022. – London: BP p.l.c., 2022. – 68 p. (in English)
4. International Energy Agency (IEA). Coal 2021: Analysis and Forecast to 2024. – Paris: OECD/IEA, 153 p. (in English)
5. Varfolomeev I., Shadrina E. Coal Quality and Environmental Aspects of Mining // *Journal of Mining Science*. – 2019. – Vol. 55 (3). – P. 437–447 (in English)
6. Zhang D., Wang Y. Experimental Study on Coal Seam Gas Emission // *Fuel*. – 2019. – Vol. 254. – P. 115–128 (in English)
7. Liu Q., Song J. Gas Control Technology in High-Gas Mines // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 101. – P. 103–116 (in English)
8. KAZENERGY. (2015) Natsional'nyi doklad KAZENERGY 2015 [National Report KAZENERGY 2015]. – Aстана: KAZENERGY. – P. 213–214 (in Russian)
9. Zhang J., Li H. Application of Dry Coal Preparation Technology // *Minerals Engineering*. – 2021. – Vol. 169. – P. 106–117 (in English)
10. JSC «Shubarkol Komir». (2021) Godovoi otchet za 2020 god [Annual Report for 2020]. – Karaganda, 145 p. (in Russian)
11. Melnikov N. V., Zhuravlev V. A. Izbiratel'naya dobycha uglya v usloviyakh Kazakhstana [Selective Coal Mining under the Conditions of Kazakhstan]. *Gornyi zhurnal [Mining Journal]*. – 2019. – No. 10. – P. 34–40 (in Russian)
12. Vargolskikh A. A. Chislennyye metody v geomekhanike [Numerical Methods in Geomechanics]. – Yekaterinburg: Ural'skoe otdelenie Rossiiskoi akademii nauk, 2015. – 332 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Асанова Ж. М., Ph.D, ассоциированный профессор, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), zh.assanova@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1169-8729>

Муртазина Ф., докторант, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), farizakhy@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-2302-4465>

Немова Н. Н., к. т. н., ст. научный сотрудник, Институт горного дела Сибирское отделение Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия), nemova-nataly@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5050-611X>

Мусин Р. А., Ph.D, ассоциированный профессор, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), R.A.Mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Авторлар туралы мәліметтер:

Асанова Ж. М., Ph.D, қауымдастырылған профессор, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Муртазина Ф., докторант, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Немова Н. Н., к. т. н., ғылыми аға қызметкер, Тау кен Институт институты Ресей Ғылым академиясының Сібір бөлімі (Новосибирск қ., Ресей)

Мусин Р. А., Ph.D, қауымдастырылған профессор, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Assanova Zh. M., Ph.D, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Murtazina F., Ph.D Candidate, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nemova N. A., Ph.D, Associate Professor, Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Musin R. A., Ph.D, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Организатор:

окрыжной выставочный центр
• ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ •

Техническая поддержка:

EXPOTECH

MEMBER
OF THE RUSSIAN
UNION OF EXHIBITIONS
AND FAIRS



ЧЛЕН
РОССИЙСКОГО
СОЮЗА ВЫСТАВОК
И ЯРМАРОК



31 МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА

**СУРГУТ.
НЕФТЬ И ГАЗ
2026**



31th INTERNATIONAL
SPECIALIZED
TECHNOLOGICAL EXHIBITION

**SURGUT.
OIL & GAS
2026**

23.09 - 25.09

+7 (3462) 94-34-54
sales@yugcont.ru
sngexpo.ru



г. Сургут,
СОК «Энергетик»
ул. Энергетиков, 47

Код МРНТИ 52.13.23

Т. М. Алменов¹, Р. К. Жанакоева¹, *Б. А. Сейтқазынова¹, Atas Bascetin²¹Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),²Ыстанбұл техникалық университеті (Ыстанбұл қ., Түркия)

ЖЕРАСТЫ ТАУ-КЕН ҚАЗБАЛАРЫН БЕКІТУГЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ТОРКРЕТБЕТОН ҚОСПАСЫНЫҢ РАЦИОНАЛДЫ ҚҰРАМДАРЫ

Аннотация. Зерттеу жұмысында жерасты тау-кен қазбаларының бекітпелерінің техникалық, эксплуатациялық, экологиялық және экономикалық тиімділігін арттыру мақсатында полимермен модификацияланған торкретбетон технологиясының жаңа нұсқасы ұсынылады. Ұсынылған тәсіл қоспаның құрамын оңтайландыруды, оны қолдану әдістерін жетілдіруді және әртүрлі геологиялық жағдайларда тиімділігін арттыруды көздейді. Кешенді инженерлік-материалтанулық әдіснама аясында физика-химиялық сипаттамалар зерттеліп, эксперименттік модельдеу, зертханалық және табиғи ортадағы далалық сынақтар жүргізіледі. Сонымен қатар, алынған нәтижелерді дәл бағалау үшін заманауи статистикалық талдау әдістері қолданылады. Бұл зерттеу торкретбетонның беріктігін, адгезиясын және ұзақ мерзімділігін арттыруға, сонымен бірге шығындарды азайтып, қоршаған ортаға әсерін төмендетуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: жерасты тау-кен қазбалары, торкретбетон, торкретбетон құрамы, бекітпе, бекіту технологиясы, торкретбетонның рационалды құрамы.

Rational compositions of shotcrete mixtures used for reinforcing underground mine excavations

Abstract. This study proposes a new polymer-modified shotcrete technology aimed at improving the technical, operational, environmental, and economic efficiency of underground mine support systems. The approach includes optimizing the mixture composition, improving application methods, and increasing efficiency under various geological conditions. The research is based on an integrated engineering and materials science methodology, including physicochemical analysis, experimental modeling, laboratory and field testing, and modern statistical evaluation methods. The proposed technology is expected to improve the strength, adhesion, and durability of shotcrete while reducing costs and minimizing environmental impact.

Key words: underground mine workings, shotcrete, shotcrete mix composition, ground support, support technology, rational compositions.

Рациональные составы торкретбетонной смеси, применяемой для крепления подземных горных выработок

Аннотация. В работе предлагается новая технология полимермодифицированного торкретбетона для повышения технической, эксплуатационной, экологической и экономической эффективности крепей подземных горных выработок. Подход предусматривает оптимизацию состава смеси, совершенствование методов нанесения и повышение эффективности применения в различных геологических условиях. Исследование основано на комплексной инженерно-материаловедческой методологии и включает изучение физико-химических свойств, экспериментальное моделирование, лабораторные и полевые испытания, а также современные методы статистического анализа. Предлагаемая технология позволяет повысить прочность, адгезию и долговечность торкретбетона, снизить затраты и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: горные выработки, торкретбетон, состав торкретбетона, крепь, технология крепления, рациональный состав торкретбетонной смеси.

Кіріспе

Әр мемлекеттің әлеуметтік-экономикалық дамуының негізгі стратегиялық міндеттерінің бірі – экономикалық өсім қарқынын жеделдету және оның тиімділігін арттыру болып табылады. Осы мақсатқа озық ғылыми-техникалық жетістіктерді енгізу, өндірістік қуаттарды кешенді жаңғырту және өнеркәсіптік әлеуетті барынша тиімді пайдалану арқылы қол жеткізе аламыз. Бұл процесте көмір, тау-кен және тау-кен химиясы салаларын дамыту айрықша маңызға ие болып отыр. Осындай шараларды іске асыру пайдалы қазбаларды өндіру көлемін арттырумен қатар, саланың технологиялық деңгейін көтеруге, өндіріс шығындарын азайтуға және қоршаған ортаға кері әсерді төмендетуге мүмкіндік алады [1–3].

Зерттеудің материалдары мен әдістемесі

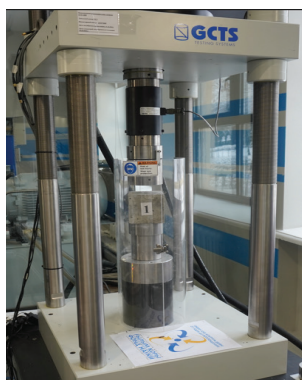
Зертханалық нәтижелерді нақты өндірістік жағдайда растау мақсатында ҚР «Жолбарысты» кенішінің № 4 штольнясындағы жерасты тау-кен қазбасындағы торкретбетон бекітпесінен алынған үлгілерге далалық сынақтар өткізілді. Жалпы далалық зерттеулер екі рет жүргізілді. Ондағы штольняның жату тереңдігі 230 м болады. Жыныстар көлемдік тығыздығы – 2,7 т/м³. Керндер УАД-3 қондырғысын пайдалана отырып, алмасты бұрғылау тәсілімен алынады. Диаметр 100 мм және биіктігі 100 мм керндерді алу торкретбетон бекітілгеннен кейін 28 тәуліктен соң, қазбаның ұзындығы бойынша әр 5 м сайын жүргізіледі. Қоспа беру үшін БМ-60 торкрет машинасы қолданылады. Кернді алу аралығы – 1 күн. Барлығы 5 керн дайындалынды. Жұмыстардың жүргізілген кезеңде қазба-

дағы ауа температурасы +16...+20°C, салыстырмалы ылғалдылық – 60–70% құрады. Үлгілердің цемент массасына шаққандағы 2%, 4%, 6%, 8% және 10% латекс мөлшері қолданылған екі компонентті торкретбетон бекітпесі бар учаскелерден 5 үлгі алынды.

Екі компонентті құрамдардағы цемент мөлшері 280–570 кг/м³ аралығында өзгерді. Байланыстырғыш ретінде Өскемен цемент зауытында өндірілген М400 маркалы портландцемент қолданылды. Екі компонентті қоспалар үшін ұтымды су-цемент қатынасы 0,35–0,45. Беріктік сипаттамаларын анықтау үшін 100 × 100 × 100 мм өлшемді текше үлгілер дайындалды. Бүрікпелі бетон үлгілерінің беріктігін анықтау сынақтары Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ зертханасында ГОСТ 10180 талаптарына сәйкес гидравликалық престің көмегімен жүргізілді. Үлгілер қалыпты жағдайда ұсталды және сынақтар 1, 3, 7 және 28 тәулікте орындалды. Қосымша түрде беріктік Кашкаровтың эталондық балғасын қолдану арқылы анықталды (1–2 сурет).

Нәтижелер

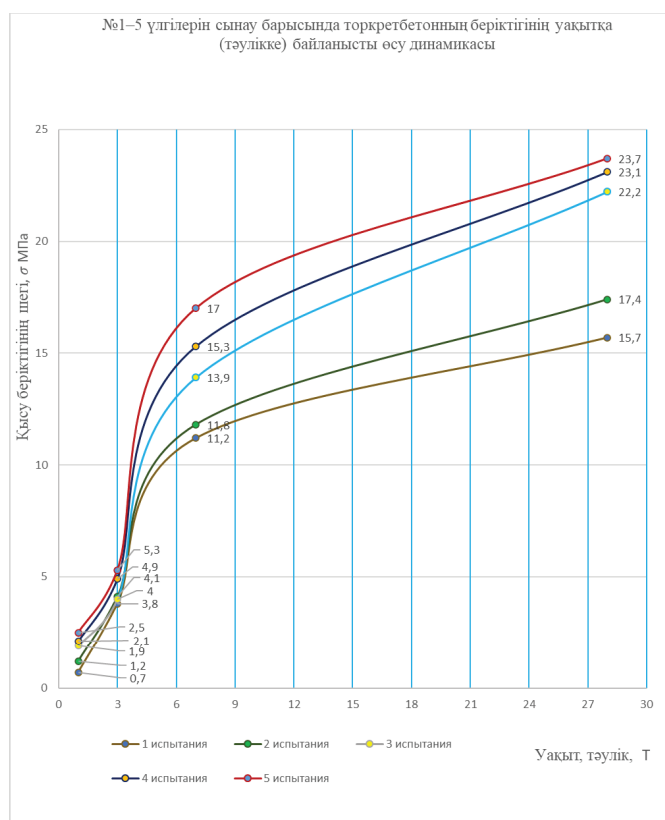
Рационалды екі компонентті дәстүрлі торкретбетон қоспасының нәтижелеріне сүйене отырып, бұл қоспа цемент массасының 2–10% мөлшерінде арнайы жеделдеткіш қоспаны енгізу арқылы модификацияланды. Тез қатайтқыш ретінде жақсартылған адгезиялық және пластикациялаушы қасиеттерге ие «Б» маркалы СКС-65 ГП латекс модификаторы қолданылды. Полимермодификацияланған торкретбетонның жоғарылатылған физика-механикалық көрсеткіштері тау-кен бекітпелерінің сенім-



Сурет 1. Бүрікпелбетон үлгілерінің қысу беріктігі бойынша сынақ нәтижелері.

Figure 1. Results of compressive strength tests of shotcrete specimens.

Рис. 1. Результаты испытаний образцов торкретбетона на прочность при сжатии.



Сурет 2. № 1–5 үлгілеріндегі цемент мөлшері (280–570 кг/м³) әртүрлі бүрікпелбетонның уақыт бойынша беріктік өсімінің динамикасы.

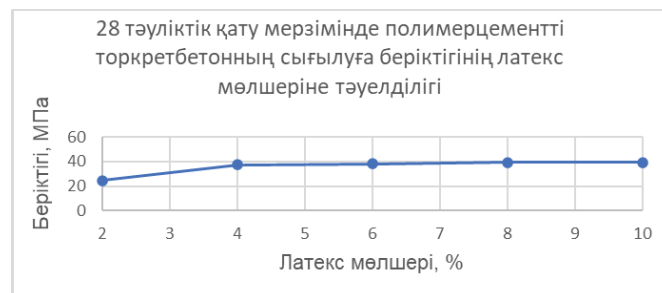
Figure 2. Strength development dynamics of shotcrete specimens No. 1–5 over time at different cement contents (280–570 kg/m³).

Рис. 2. Динамика роста прочности торкретбетона образцов № 1–5 во времени при различном содержании цемента (280–570 кг/м³).

ділігі мен ұзақ мерзімділігін арттыруға ықпал етеді, бұл өз кезегінде жерасты жұмыстарында қауіпсіздік деңгейін және тау-кен өндірісінің өнімділігін жоғарылатады. Сынақтар қорытындылары торкретбетонның механикалық және пайдалану қасиеттерін едәуір жақсартатын компоненттердің ұтымды арақатынастарын анықтауға мүмкін-

дік берді. Латекс пен модификацияланған құрамдардан дайындалған үлгілердің беріктік қасиеттері Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ зертханалық жағдайларында эксперименталды түрде зерттелінді.

Латексті қоспа бар екі компонентті полимерцементті торкретбетонның беріктік сипаттамаларын талдау. Бұл жұмыс аясында цемент массасына шаққанда латекс мөлшері 2–10% аралығында өзгертілген полимерцементті негіздегі екі компонентті торкретбетон құрамдарынан дайындалған үлгілердің беріктік сипаттамалары талдалынды (кесте 1). Сынақтар бұрын баяндалған әдістеме бойынша зертханалық жағдайда орындалынды (сурет 3).



Сурет 3. 28 тәулік қату мерзімінде латекс мөлшеріне байланысты беріктік өзгерісі.

Figure 3. Strength variation depending on latex content at a curing period of 28 days.

Рис. 3. Изменение прочности в зависимости от содержания латекса при сроке твердения 28 суток.

3-суреттегі 28 тәулік қату мерзімінде латекс мөлшеріне байланысты екі компонентті полимерцементті торкретбетонның сығылуға беріктігінің тәуелділіктері көрсетілді. Тәжірибелік деректерді талдау латекс мөлшерін 2-ден 4%-ға дейін арттыру екі компонентті құрам түрі үшін беріктіктің айтарлықтай өсуімен қатар жүретінін аңғартты. Латекстің мөлшерін 4-тен 10%-ға дейін одан әрі арттыру кезде беріктік сипаттамаларының тұрақтануы және көрсеткіштердің шамалы ғана өсуі байқалды (1-сурет). Мысалға, екі компонентті құрам үшін латекс мөлшері 8% болғанда беріктік 39,2 МПа, ал 10% – 39,5 МПа құрайды, бұл бар-жоғы 0,77% өсімге сәйкес келді. Егер

Кесме 1

Екі компонентті полимерцементті латексті торкретбетонның рационалды құрамын анықтау бойынша экономикалық талдау нәтижелері

Table 1

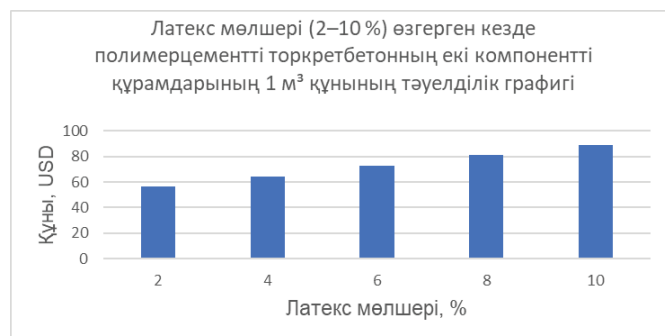
Results of the economic analysis to determine the optimal composition of a two-component polymer-cement latex shotcrete

Таблица 1

Результаты экономического анализа по определению оптимального состава двухкомпонентного полимерно-цементного латексного торкретбетона

№	Бетон қоспасының құрамы 1-5 (Ц:Қ:С:Л)	Цемент, кг	Құм, кг	Қиыршықтас, кг	Латекс, л	Су, л	Сығуға беріктік шегі, МПа	Құны, тг (USD) (1 м³ бетон қоспасы)
Екі компонентті полимерцементті құрам (компоненттердің арақатынасы: Цемент:Құм:Латекс:Су)								
1	1:2,4:0,43:0,02	400	997	-	5,1	112	24,5	56,3
2	1:2,4:0,43:0,04	400	992	-	10,3	111	37,5	64,1
3	1:2,4:0,43:0,06	400	986	-	15,4	110,5	38,1	72,6
4	1:2,4:0,43:0,08	400	982	-	20,4	109,9	39,2	80,8
5	1:2,4:0,43:0,10	400	977	-	25,4	109,4	39,5	88,9

де латекс мөлшері 4% (37,5 МПа, 2-сы сынақ) және 10% (39,5 МПа, 5-сы сынақ) кезіндегі беріктікті салыстырсақ, өсім 5,33% болды. Екі компонентті (Ц:Қ:Л:С) полимерцементті торкретбетон құрамында латекс мөлшері цемент массасына шаққанда 2–10% аралығында өзгертілгеннен кейін, аталған қоспаның құны бойынша экономикалық талдау жүргізілген. Бұл талдау беріктік/құн арақатынасын ескере отырып жүзеге асырылды, бұл материалдың физика-механикалық және экономикалық көрсеткіштерінің ұтымды үйлесімін қамтамасыз ететін полимерлі қоспаның тиімді дозаларын анықтауға мүмкіндік береді (сурет 4–5).

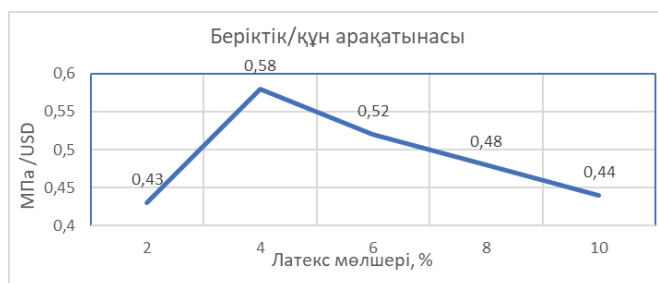


Сурет 4. Латекс мөлшері 2–10% аралығында болған жағдайда торкретбетонның екі компонентті құрамының 1 м³ құнының өзгеру графигі.

Figure 4. A graph showing the change in the cost per cubic meter of a two-component spray-coating mixture with a latex content ranging from 2% to 10%.

Рис. 4. График, отражающий изменение стоимости одного кубического метра двухкомпонентной смеси для торкретирования с содержанием латекса от 2 до 10%.

2-кестеде деректерге сәйкес, сонымен қатар 4 және 5-суреттерде келтірілген графиктер негізінде 1 м³ полимерцементті торкретбетон қоспасының құны латекс мөлшерінің артуымен бірге сызықты түрде өсетіні анық-



Сурет 5. Латекс мөлшеріне байланысты екі компонентті торкретбетонның рационалды құрамдарының беріктік/құн көрсеткіші бойынша салыстырмалы тиімділік талдауы.

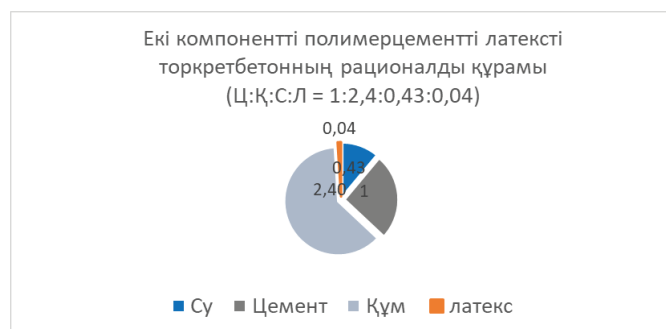
Figure 5. Analysis of the relative performance of the «strength-to-cost» ratio for optimal mixtures of two-component shotcrete, as a function of latex content.

Рис. 5. Анализ относительной эффективности показателя «прочность/стоимость» для оптимальных составов двухкомпонентного торкретбетона в зависимости от содержания латекса.

талынды. Бұл екі компонентті құрамдар үшін құн 56,3-тен 88,9 USD-қа дейін дейін өзгерді. Осы екі компонентті құрамдардың экономикалық тиімділігін талдау латекс мөлшерін 2-ден 10%-ға дейін арттыру (бірінші сынақтан бесіншіге дейін) қоспаның құнын 58%-ға қымбаттататынын, ал беріктіктің 61,2%-ға артатынын көрсетеді. Екінші және бесінші сынақтарды салыстырғанда құн 38%-ға өседі, ал беріктік өсімі небәрі 5,3% болды. Сондай-ақ, төртінші (80,8 USD/м³) және бесінші (88,9 USD/м³) құрамдардың айырмашылығы 10,1% болса, беріктік өсімі бар-жоғы 0,77% құрады. Осы нәтиже цемент массасының 4%-ынан жоғары латекс қосудың экономикалық тұрғыдан тиімсіз екенін көрсетті. Латекс торкретбетонның тиімділігін бағалау сығылуға беріктік шегінің (МПа) 1 м³ қоспаның құнына (USD) қатынасы арқылы да жүргізілген (3-сурет). Жоғары тиімділік латекс мөлшері 4% болғанда байқалады – 0,58 МПа.

Жасалынған полимерцементті латексті торкретбетонның беріктік сипаттамаларын зерттеу және оның экономикалық тиімділігін талдау нәтижесінде екі компонентті материалдың рационалды құрамы анықталынды. Осы құрам эксплуатациялық қасиеттер мен өзіндік құнның ұтымды арақатынасын қамтамасыз етеді (сурет 6). Пайдалануға рационалды деп танылған екі компонентті полимерцементті латексті торкретбетон құрамы:

Цемент:Құм:Су:Латекс = 1:2,4:0,43:0,04.



Сурет 6. Екі компонентті полимерцементті латексті торкретбетонның рационалды құрамы.

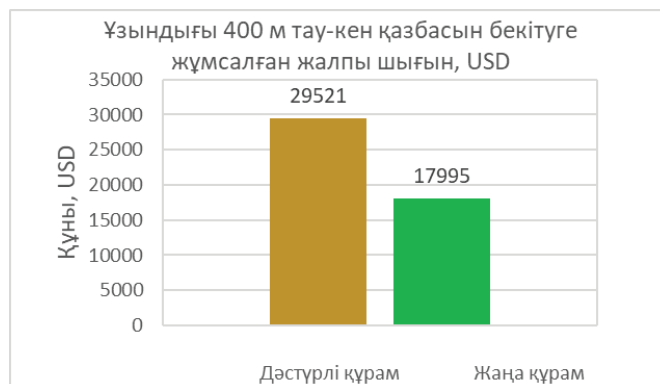
Figure 6. Rational composition of two-component polymer-cement latex shotcrete.

Рис. 6. Рациональный состав двухкомпонентного полимерцементного латексного торкретбетона.

Зерттеу нәтижелерін талдау

Жасалынған зерттеулер жаңа құрамдағы, беріктігі жоғары полимерцементті торкретбетонды қолдану қаптама қалыңдығын 4–5 см-ге дейін азайта отырып, бекітпенің талап етілетін беріктігі мен сенімділігін толық қамтамасыз ететінін көрсетеді. Осындай конструктивтік шешім тау-кен қазбаларын тұрғызу кезінде материал шығынын, еңбек шығынын және жалпы жұмыс құнын төмендетуге әсерін тигізеді. Осы жаңа құрамдағы полимерцементті латексті торкретбетонды қолданудың экономикалық көрсеткіштерінің зерттеу нәтижелері анықталды (кесте 2, сурет 7).

Дәстүрлі бүрікпелбетон мен жаңа полимерцементті құрамды қолданудың салыстырмалы техника-экономикалық тиімділігін талдау төмендегі қорытындыларды тұжырымдауға мүмкіндік береді: Жаңа полимерцементті құрамды қолдану бүрікпелбетон қабатының қалыңдығын 8 см-ден 4 см-ге дейін азайтуға мүмкіндік берді. Бұл материалдың беріктігінің жоғары екенін және адгезиялық қасиеттерінің жақсарғанын көрсетеді, яғни бекітпенің көтергіштік және қорғаныштық сипаттамаларын төмендетпей-ақ қалыңдығы аз болған жағдайда да талап етілетін тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, жаңа құрамды қолдану тау-кен қазбасының жарықтағы кимасының ауданын 13,8 м²-ден 14,4 м²-ге дейін ұлғайтуға ықпал ететіні анықталды. Бұл желдету жағдайларына оң әсер етеді және жобалық габариттер сақталған жағдайда қазба ішіндегі көлікпен қатынау қолжетімділігін жақсартады. Қабат қалыңдығының азаюы бүрікпелбетон қоспасының жалпы шығынын екі есе қысқартты – 552 м³-тен 276 м³-ке дейін, бұл 50% төмендеуге сәйкес келеді. Бұл бекітілетін материал көлемінің азаюымен қатар, қоспаның шығындарын



Сурет 7. 400 м қазбаны бекіту кезінде дәстүрлі және полимерцементті латексті торкретбетонның құнын салыстыру.

Figure 7. Cost comparison of supporting a 400 m excavation using conventional and polymer-cement latex shotcrete.

Рис. 7. Сравнение стоимости крепления 400 м выработки традиционным и полимерцементным латексным торкретбетоном.

10%-ға дейін төмендетумен сипатталатын оны бекітудің анағұрлым тиімді технологиясымен де байланысты. Жаңа құрамның 1 м³ құны 65,2 USD болып, дәстүрлі құраммен (53,48 USD) салыстырғанда 22% жоғары болғанына қарамастан, ұзындығы 400 м тау-кен қазбасын бекітуге кеткен жалпы шығын жаңа құрамды қолданғанда 17 995 USD құрады, ал дәстүрлі материал қолданылғанда 29 521 USD болды. Үнемдеу 11 526 USD, яғни 39%-дан астам. Осылайша, жаңа құрамдағы полимерцементті латексті бүрікпелбетонды қолдану техникалық жағынан да, экономикалық жағынан да елеулі артықшылықтарға ие екенін көрсетеді. Қабат қалыңдығы мен қоспа шығыны көлемінің айтарлықтай қысқаруы эксплуатациялық сипаттамалардың бір мезгілде артуымен қатар жүруі материалдың жоғары тиімділігін дәлелдейді. Жаңа полимерцементті құрамның 1 м³ құны 22% жоғары болғанымен, тау-кен қазбасын бекітуге жұмсалатын жиынтық шығындар (Қазақстан Республикасы, «Жолбарысты» кеніші) шамамен 39%-дан астам төмендейді. Бұл аталған технологияны қолданудың экономикалық мақсатқа сәйкестігін және жоғары тиімділігін көрсетеді, әрі оны тау-кен өнеркәсібінде кеңінен енгізуді негіздейді.

Қорытынды

Бұл жұмыс бойынша жүргізілген зерттеулерде латекспен модификацияланған қоспалар негізіндегі торкретбетонның жетілдірілген құрамын әзірлеу және аталған қоспалармен тау-кен қазбаларын бекіту технологиясы қарастырылды. Нақтылап айтқанда екі компонентті торкретбетон қоспасының тиімді құрамы жасалған, онда цемент шығыны – 400 кг/м³ болғанда, қоспалардың оңтайлы ара қатынастық құрамы келесідей болғандығы анықталды: Ц:Қ:С:Л = 1:2,4:0,43:0,04. Жаңа құрамда полимерцементті торкретбетонды қолданып, бекіту параметрлерін оңтайландыру бекітпе қабатының қалыңдығын 50%-ға азайтуға, қазба кимасын 5%-ға ұлғайтуға және шығындарды 39%-ға

Кесте 2

Жаңа құрамдағы полимерцементті латексті торкретбетонды қолданудың техника-экономикалық көрсеткіштері

Table 2

Technical and economic indicators for the use of a new formulation of polymer-cement latex shotcrete

Таблица 2

Технико-экономические показатели применения полимерно-цементного латексного торкретбетона нового состава

Көрсеткіштер	Тау-кен қазбасының бекітпесін дәстүрлі құрамдағы бүрікпобетонмен тұрғызу кезінде	Тау-кен қазбасының бекітпесін жаңа полимерцементті құрамдағы бүрікпобетонмен тұрғызу кезінде
Қазбаның өту кезіндегі көлденең қимасының ауданы (алдын ала), (жобалық қима), м ²	15	15
Қазбаның ұзындығы, м	400	400
Бүрікпобетон қабатының қалыңдығы (бекітпенің орташа қалыңдығы), см	8	4
Қазбаның жарықтағы (бекітілгеннен кейінгі) көлденең қимасының ауданы, м ²	13,8	14,4
15% шығынды (материалдың қайтуын) ескере отырып бүрікпобетон қоспасының шығыны, м ³	552	276
Бүрікпобетон қоспасының 1 м ³ құны, USD (\$)	53,48	65,2
400 м тау-кен қазбасын бекітуге жалпы шығын, USD (\$)	29521	17995

төмендегу мүмкіндігіне қол жеткізді. Жасалған құрамдағы полимерцементті латексті торкретбетонмен тау-кен қазбалары мен жерасты ғимараттарын бекітуге тиімді болатындығы тәжірибелік сынақтар арқылы дәлелденілді. Бұның тиімділігі «Жолбарысты» кенішінде (400 м болатын) № 4

штольняны жүргізу кезінде сыналанды. Экономика жағынан тиімділігі 5 763 000 теңгені (11 526 USD) құрады, бұл дегеніміз полимерцементті латексті торкретбетонның жаңа құрамын күрделі шарттарда өтілетін тау-кен қазбаларын бекітуге кеңінен қолдануға болатындығын көрсетеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жерасты кен қазбаларын бекітуге арналған бүрікпобетон қоспаларының инновациялық құрамдары / Т. М. Алменов [және т. б.] // HighTech and Innovation Journal. – 2025. – Т. 6. – № 4. – Б. 1238–1263 (ағылшын тілінде)
2. Беттік сканерлеу негізінде талшықпен нығайтылған бүрікпобетон мен гранит интерфейсінің ығысу арқылы бұзылу сипаттамаларын зерттеу / Zh. Hu [және т. б.] // Case Studies in Construction Materials. – 2024. – Т. 21. – e03486 (ағылшын тілінде)
3. Бетон бекітпелерінің жетілдірілген жаңа құрамдары / Т. М. Алменов [және т. б.] // Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінің хабаршысы. – 2015. – № 5. – Б. 225–229 (қазақ тілінде)
4. Heidarneszhad F., Zhang Q. Бүрікпобетон негізіндегі 3D-бетонды басып шығару: қазіргі жағдайы, қиындықтары және даму мүмкіндіктері // Construction and Building Materials. – 2022. – Т. 323. – 126545 (ағылшын тілінде)
5. Жерасты кен қазбалары үшін ұтымды бекітпе түрлерін таңдаудың жаңа тәсілі / Т. М. Алменов [және т. б.] // Civil Engineering Journal (C.E.J). – 2025. – Т. 11. – № 3. – Б. 1217–1241 (ағылшын тілінде)
6. Тропикалық топырақтар үшін құймалы топырақ-бетонға арналған бірыңғай қоспа / L. Walter [және т. б.] // Results in Engineering. – 2025. – Т. 25. – 103981 (ағылшын тілінде)
7. Қабатты тау жыныстары массивінде жүргізілген кен қазбаларының орнықтылығын бағалау / A. Imashev [және т. б.] // Mining of Mineral Deposits. – 2024. – Т. 18. – № 1. – Б. 82–88 (ағылшын тілінде)
8. Жоғары геотермиялық ортадағы қоспалы бүрікпобетонның кеуек құрылымының сипаттамалары және оның механикалық қасиеттерімен сандық байланысы / W. Wang [және т. б.] // Journal of Materials Research and Technology. – 2024. – Т. 28. – Б. 643–654 (ағылшын тілінде)

9. Бескемпір кен орнындағы тасымалдау қазбасы маңындағы тау жыныстарының кернеулі-деформацияланған күйін талдау / A. Begalinov [және т. б.] // *Mining of Mineral Deposits*. – 2020. – Т. 14. – № 3. – Б. 28–36 (ағылшын тілінде)
10. Жыланды кен орындары ауданының кешенді мониторингі / K. B. Rysbekov [және т. б.] // *Eurasian Mining*. – 2024. – Т. 41. – № 1. – Б. 3–6 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Innovative Compositions of Shotcrete Mixtures for Reinforcement of Underground Mine Excavations / T. M. Almenov et al. // *HighTech and Innovation Journal*. – 2025. – Vol. 6. – No. 4. – P. 1238–1263 (in English)
2. Study on shear failure characteristics of fiber-reinforced shotcrete-granite interface based on surface scanning / Zh. Hu et al. // *Case Studies in Construction Materials*. – 2024. – Vol. 21. – Article e03486 (in English)
3. Improved New Compositions of Concrete Supports // T. M. Almenov et al. // *Kazakh National Technical University after K. I. Satpayev Bulletin*. – 2015. – No. 5. – P. 225–229 (in Kazakh)
4. Heidarneszhad F., Zhang Q. Shotcrete based 3D concrete printing: State of art, challenges, and opportunities // *Constr. Build. Mater.* – 2022. – Vol. 323. – Article 126545 (in English)
5. A Novel Approach to Selecting Rational Supports for Underground Mining Workings / T. M. Almenov et al. // *Civil Engineering Journal (C.E.J.)*. – 2025. – Vol. 11. – Issue 03. – P. 1217–1241 (in English)
6. A single additive for poured earth concrete with tropical soils / L. Walter et al. // *Results in Engineering*. – 2025. – Vol. 25. – Article 103981 (in English)
7. Assessing stability of mine workings driven in stratified rock mass / A. Imashev et al. // *Mining of Mineral Deposits*. – 2024. – Vol. 18. – Issue 1. – P. 82–88 (in English)
8. Pore structure characteristics of admixture shotcrete and its quantitative relationship with mechanical properties in high geothermal environment / W. Wang et al. // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2024. – Vol. 28. – P. 643–654 (in English)
9. Analysis of the stress deformed state of rocks around the haulage roadway of the beskempir field (Kazakhstan) / A. Begalinov et al. // *Mining of Mineral Deposits*. – 2020. – Vol. 14. – Issue 3. – P. 28–36 (in English)
10. Integrated monitoring of the area of Zhilandy deposits / K. B. Rysbekov et al. // *Eurasian Mining*. – 2024. – Vol. 41. – Issue 1. – P. 3–6 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инновационные составы торкрет-бетонных смесей для укрепления подземных горных выработок / T. M. Almenov [и др.] // *High Tech and Innovation*. – 2025. – Т. 6. – № 4. – С. 238–1263 (на английском языке)
2. Исследование характеристик сдвигового разрушения граничного слоя между армированным волокном торкрет-бетоном и гранитом на основе сканирования поверхности / Zh. Hu [и др.] // *Case Studies in Construction Materials*. – 2024. – Т. 21. – Ст. e03486 (на английском языке)
3. Новые усовершенствованные составы арматуры для бетона / Т. М. Алменов [и др.] // *Вестник Казахского национального технического университета им. К. И. Сатбаева*. – 2025. – № 5. – С. 225–229 (на казахском языке)
4. Heidarneszhad F., Zhang Q. 3D-печать бетона с использованием торкрет-бетона: современное состояние, проблемы и перспективы // *Constr. Build. Mater.* – 2022. – Т. 323. – Ст. 126545 (на английском языке)
5. Новый подход к выбору рациональных опорных конструкций для подземных горных выработок / T. M. Almenov [и др.] // *Civil Engineering Journal (C.E.J.)*. – 2025. – № 03. – С. 1217–1241 (на английском языке)
6. Единая добавка для бетона из сыпучих грунтов в условиях тропического климата / L. Walter [и др.] // *Results in Engineering*. – 2025. – Т. 25. – Ст. 103981 (на английском языке)
7. Оценка устойчивости горных выработок, проложенных в слоистой горной породе / A. Imashev [и др.] // *Mining of Mineral Deposits*. – 2024. – Т. 18. – № 1. – С. 82–88 (на английском языке)
8. Характеристики поровой структуры торкрет-бетона с добавками и их количественная зависимость от механических свойств в условиях высокой геотермальной активности. / W. Wang [и др.] // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2024. – Т. 28. – С. 643–654 (на английском языке)
9. Анализ деформированного под действием напряжений состояния горных пород вблизи вывозной дороги на месторождении Бескемпир (Казахстан) / A. Begalinov [и др.] // *Mining of Mineral Deposits*. – 2020. – Т. 14. – № 3. – С. 28–36 (на английском языке)
10. Комплексный мониторинг района Жиландинских месторождений / K. B. Rysbekov [и др.] // *Eurasian Mining*. – 2024. – Т. 41. – Вып. 1. – С. 3–6 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Алменов Т. М., техника ғылымдарының кандидаты, «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, «Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Алматы қ., Қазақстан), T.Almenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9674-8598>
Жанакова Р. К., Ph.D докторы, «Тау-кен ісі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Алматы қ., Қазақстан), r.zhanakova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0845-8449>
Сейтқазынова Б. А., «Тау-кен инженериясы» мамандығының 2-курс докторанты, «Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ (Алматы қ., Қазақстан), seitkazynova@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-8018-7884>
Atac Bascetin, Ph.D докторы, «Тау-кен инженериясы» кафедрасының профессоры, Ыстанбұл техникалық университеті (Ыстанбұл қ., Түркия), abascetin@itu.edu.tr; <https://orcid.org/0000-0001-7533-4599>

Information about the authors:

Almenov T. M., candidate of Technical Sciences, Professor of the Mining Department, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)
Zhanakova R. K., Ph.D, Associate Professor of the Mining Department, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)
Seitkazynova B. A., second-year Ph.D student in the field of «Mining Engineering», Kazakhstan National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan)
Atac Bascetin, Ph.D, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Mining Engineering (Istanbul, Turkey)

Сведения об авторах:

Алменов Т. М., канд. техн. наук, профессор кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)
Жанакова Р. К., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Горное дело», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)
Сейтқазынова Б. А., докторант 2 курса по специальности «Горная инженерия», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)
Atac Bascetin, доктор Ph.D, профессор кафедры «Горная инженерия», Стамбульский технический университет (г. Стамбул, Турция)

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

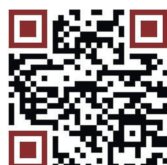


ПОДПИСКА' 2026

РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

СОТРУДНИЧЕСТВО

Узнайте больше
на сайте:



Instagram:



Консультация
в WhatsApp:





MINEX EURASIA'26
London

LONDON • 30 NOVEMBER 2026

From Agreements to Action:
Delivering Eurasia's Critical Minerals Future

The 14th Conference on Mining and Mineral Exploration in Eurasia

ABOUT MINEX FORUM MINEX

Forum was founded by Advantix Ltd. in 2005 to stimulate international cooperation in the field of sustainable development of mining and metallurgical production in Eurasian countries. Over the years, the MINEX Forum has become one of the most authoritative international events in Europe and Central Asia. The Forum's ecosystem brings together thousands of specialists from hundreds of companies and organisations around the world.



Код МРНТИ 38.49.19

A. I. Ibyrkhanova¹, *V. S. Portnov¹, G. Zh. Dosetova², A. A. Tretyakov³
¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan),
²O.A. Baikonurov Zhezkazgan University (Zhezkazgan, Kazakhstan),
³Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

ORE POTENTIAL OF EARLY DEVONIAN INTRUSIONS IN THE SARYSU-TENIZ UPLIFT

Abstract. The article assesses the ore potential of the Terekty and Kokkuduktoke Early Devonian intrusive complexes in the southeastern part of the Sarysu-Teniz uplift, Central Kazakhstan. The study is based on geological, structural and geophysical data, as well as comparison with a known copper-gold deposit associated with the Karamendy intrusive complex. The focus is on studying the contacts between intrusive and effusive rocks, as well as zones of deep faults and intense crushing, which likely served as pathways for the migration of hydrothermal fluids and the localization of mineralization. The data obtained allows us to identify several promising areas of copper-gold mineralization, confined to zones of interaction between intrusions and Upper Ordovician effusive rocks. The identified geological and geophysical features confirm the prospectivity of the studied complexes and define priority targets for further exploration.

Key words: intrusive magmatism, Early Devonian intrusions, ore potential, geophysical methods, deep faults, Sarysu-Teniz uplift, Central Kazakhstan.

Сарысу-Теніз көтерілімі ерте девон интрузивті кешендерінің кендік әлеуеті

Аннотация. Мақалада Орталық Қазақстандағы Сарысу-Теніз көтерілімінің оңтүстік-шығыс бөлігінде орналасқан Теректі және Көккүдуктобе ертедевон интрузивтік кешендерінің кендік әлеуеті бағаланады. Зерттеу геологиялық, құрылымдық және геофизикалық деректерге, сондай-ақ Қараменді интрузивтік кешенімен байланысты белгілі мыс-алтын кен орнына салыстырмалы талдауға негізделген. Негізгі назар интрузивті және эффузивті жыныстардың жанасу аймағына, терең жарылымдар мен қарқынды ұсақталу зоналарына аударылған. Бұл аймақтар гидротермалдық флюидтердің көшу жолдары және минералданудың шоғырлану орындары болуы мүмкін. Алынған нәтижелер перспективалы мыс-алтын минералдану учаскелерін анықтауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: интрузивтік магматизм, ерте девон интрузиялары, рудалық әлеует, геофизикалық әдістер, терең жарылымдар, Сарысу-Теніз көтерілімі, Орталық Қазақстан.

Рудоносный потенциал раннедевонских интрузивных комплексов Сарысу-Тенизского поднятия

Аннотация. В статье оценивается рудный потенциал раннедевонских Теректинского и Коккудуктобинского интрузивных комплексов, расположенных в юго-восточной части Сарысу-Тенизского поднятия Центрального Казахстана. Исследование основано на геологических, структурных и геофизических данных, а также на сопоставлении с известным медно-золотым месторождением, связанным с Карамендинским интрузивным комплексом. Основное внимание уделено контактам интрузивных и эффузивных пород, зонам глубинных разломов и интенсивного дробления, которые могли служить путями миграции гидротермальных флюидов и локализации минерализации. Полученные результаты позволяют выделить перспективные участки медно-золотой минерализации и определить приоритетные направления дальнейших поисковых работ.

Ключевые слова: интрузивный магматизм, раннедевонские интрузии, рудоносный потенциал, геофизические методы, глубинные разломы, Сарысу-Тенизское поднятие, Центральный Казахстан.

Introduction

The Sarysu-Teniz segment of the Devonian volcanic-plutonic belt is one of the key geological structures of Central Kazakhstan. Its tectonic-magmatic evolution was accompanied by the formation of granitoid intrusive complexes and volcanogenic-sedimentary strata, which created favorable conditions for the development of ore-bearing systems [1, 2].

The aim of this study is to assess the prospects for hydrothermal-plutogenic copper-gold mineralization within the Terekty and Kokkuduktoke Early Devonian intrusive complexes in the southeastern part of the Sarysu-Teniz uplift. The assessment is based on a comparative analysis of geological, geophysical and geochronological data with the Karamendy intrusive complex, where the Zhaltyrbulak gold-copper ore occurrence has been identified [3, 4].

The Karamendy, Terekty and Kokkuduktoke intrusive complexes are considered as elements of a single Early Devonian magmatic system. The Zhaltyrbulak mineralization associated with the Karamendy complex is used as an analog model. Its main ore-controlling features include intrusive-effusive contacts, exo- and endocontact alteration zones, crushing and fracturing zones, deep faults, quartz-sulfide mineralization and local geophysical anomalies. These criteria were applied to evaluate the ore potential of the Terekty and Kokkuduktoke complexes.

Geophysical and geological evidence indicates similar mineralogical composition and close age values of the studied intrusive complexes within the analytical error [5]. Therefore, the Terekty and Kokkuduktoke complexes are considered promising objects for comparative geological and geophysical

assessment using the analogy method and expert ranking of diagnostic ore-controlling features.

Analysis of the results of previous studies

Geological and geophysical data on the exploration of the Sarysu-Teniz segment of the Devonian volcano plutonic belt were collected primarily during regional and detailed exploration work conducted in the second half of the 20th century. The bulk of the research was concentrated within the Karamendy intrusive complex, where, from 1967 to 1972, K. I. Marichev, V. T. Kazimir, and V. A. Bogach conducted a series of geological, geophysical, and mining surveys that identified the Zhaltyrbulak gold deposit and several associated ore occurrences within the Zhaltyrbulak ore field.

The manifestations of gold-sulfide mineralization at the Zhaltyrbulak site are confined to the endocontact zone of granites and granodiorites of the Karamendy intrusive complex with Ordovician (O₂) effusive formations. This contact area is the main mining control zone, which is confirmed by the totality of geological observations and the results of geophysical work carried out in 1967–1968 (Figure 1) [6, 7].

Mineralization at the Zhaltyrbulak site is confined to the endocontact zone of granites and granodiorites with Upper Ordovician effusive rocks. Ore-bearing structures are mainly represented by northwest-trending crushed and fractured zones associated with quartz-sulfide veins. The mineralization includes pyrite, chalcopyrite, molybdenite and hematite, while the oxidation zone contains iron hydroxides and copper oxides. Magnetometry data show that ore-bearing and hydrothermally altered zones are marked by local magnetic field minima of up to 200–300 γ and bends in the ΔZa isolines, indicating

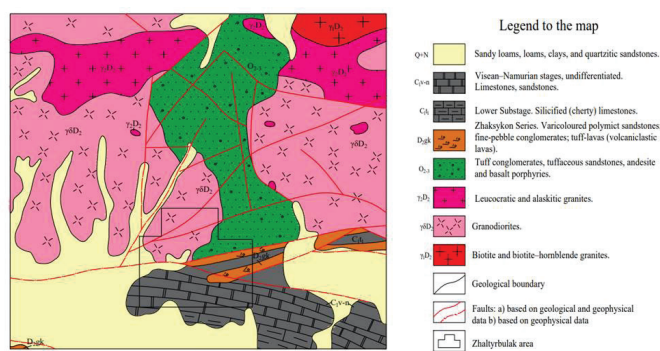


Figure 1. Geological map of the Zhaltyrbulak site (sheet M-42- XXXIII).

Сурет 1. Жалтырбұлақ учаскесінің геологиялық картасы (М-42- XXXIII парағы).

Рис. 1. Геологическая карта участка Жалтырбулак (лист М-42-XXXIII).

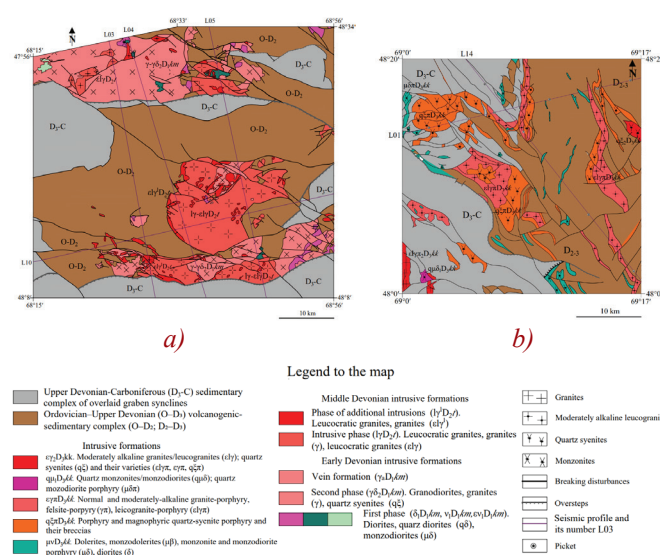


Figure 2. Geological maps: a) Karamendy and Terekty intrusive complexes, profiles L03, L04, L05, L10 (sheet M-42-XXXIII); b) Kokkuduktobe intrusive complex, profiles L01, L14 (sheet M-42-XXXIV).

Сурет 2. Геологиялық карталар: а) Қараменді және Теректі интрузивті кешендер, L03, L04, L05, L10 профильдері (М-42-XXXIII парағы); б) Көкқұдықтөбе интрузивті кешені, L01, L14 профильдері (М-42-XXXIV парағы).

Рис. 2. Геологические карты: а) Карамендинский и Теректинский интрузивные комплексы, профили L03, L04, L05, L10 (лист М-42-XXXIII); б) Коккудуктюбинский интрузивный комплекс, профили L01, L14 (лист М-42-XXXIV).

tectonic disturbances and reduced magnetic susceptibility of altered rocks. These geological, mineralogical and geophysical features confirm the high prospectivity of the Zhaltyrbulak site and can be used as criteria for further exploration and evaluation work [8, 9].

Materials and Methods

Exploratory work was conducted within each intrusive complex to identify promising areas for expanding the mineral resource base of the region. The studies included geological, geophysical, geochemical and geochronological investigations, absolute age determination, drilling, well logging and integrated data interpretation. Geophysical surveys were carried out along extended submeridional and sublatitudinal profiles crossing intrusive bodies, contact zones, regional and local faults, and structural-formation boundaries. The profile layout was aimed at revealing the deep structure of intrusive bodies and potential ore-controlling zones (Figure 2).

The geophysical complex included magnetic, gravity, electrical, seismic and gamma-ray surveys. Magnetic measurements were performed using a GSM-19W proton magnetometer, gravity data were obtained with a Scintrex CG-5 Autograv gravimeter, and VES-IP data were interpreted in ZondRes2D. Seismic profiling was carried out by the 2D common depth point method. Integrated interpretation made it possible to identify intrusive contacts, fault zones and areas favorable for hydrothermal mineralization.

Results and Discussion

As a result of the interpretation of new geological and geophysical data obtained from a system of extended profiles intersecting the Terekty and Kokkudukto be intrusive complexes, stable patterns of spatial distribution of magnetic, gravitational and electrical anomalies have been established. The revealed anomalous fields reflect the structural features of intrusive bodies, their contact zones and associated fault structures, which are interpreted as deep structural elements potentially controlling ore mineralization.

The Terekty intrusive complex, previously treated as Middle Devonian, is considered in this work as Early Devonian

and is represented by leucogranites of normal and moderate alkalinity embedded in Devonian volcanogenic-sedimentary strata [5]. According to the geological survey and geophysical surveys of 2020–2022, intrusive bodies can be traced within the profiles L03, L04, L05, L10 and L13, where pronounced contact and exocontact zones are formed (Figure 2a).

The exocontact zones of the Terekty intrusive complex have a thickness of 10–50 m, which is confirmed by geological observations and geophysical interpretation of the profiles. Hydrothermally altered rocks are developed within these zones, confined to the contacts of intrusive bodies with the host Devonian strata. According to geological features, exocontacts are estimated as zones of high probability of mineralization, while the central parts of the intrusive without pronounced structural disturbances correspond to a medium-high probability (Figure 3).

Structurally, the Terekty intrusive complex is confined to discontinuous disturbances. The marginal parts of the massifs are complicated by zones of crushing and increased fracturing with a width of 10–40 m, which coincide with the exocontacts of intrusive bodies and are considered as the main channels of migration of ore-bearing hydrothermal fluids. The intersection points of faults and contacts, most clearly expressed on profiles L05 and L10, are the main ore-controlling structures and are estimated as zones of high probability of mineralization.

The mineralogical features of the Terekty complex correspond to the intrusive hydrothermal type of mineraliza-

tion. Pyrite and chalcopyrite were found in the exocontact zones, which indicates the presence of primary sulfide mineralization. Secondary copper minerals malachite and azurite, which are associated with cracks and decompression zones, are widely developed in the oxidation zone. The association of **Cu** with **Ag** and **Mo** has a local character and is considered as a supporting sign of medium to high significance.

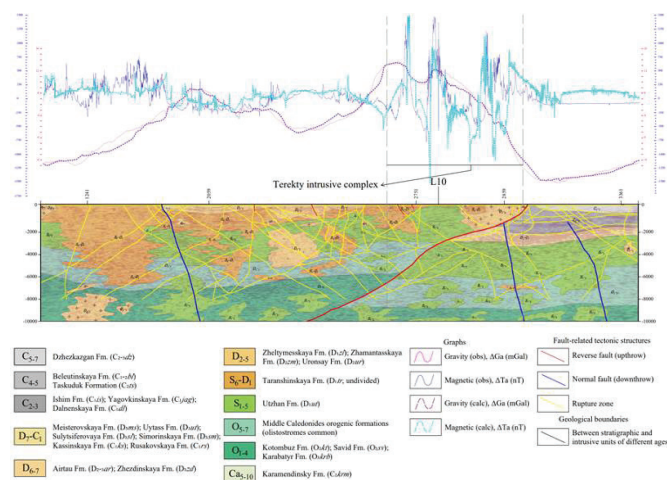


Figure 3. Geological and geophysical section along the L03 profile.

Сурет 3. L03 профілі бойынша геологиялық және геофизикалық қима.

Рис. 3. Геолого-геофизический разрез профиля L03.

The geophysical data provide a quantitative justification for the ore prospects of the Terekty complex. According to magnetometry data, stable local minima of the anomalous magnetic field ΔZ with an amplitude of 100–200 NT are recorded on profiles L03, L04, L05, and L10, confined to exocontacts and crushing zones; these anomalies are interpreted as the result of rock demagnetization due to hydrothermal processing (Figure 4) [10, 11].

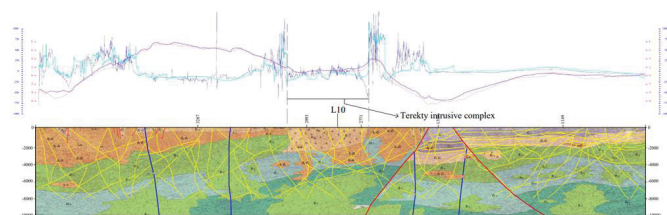


Figure 4. Geological and geophysical section along the L04 profile.

Сурет 4. L04 профілі бойынша геологиялық және геофизикалық қима.

Рис. 4. Геолого-геофизический разрез профиля L04.

According to the data of gravity exploration, local decreases in the gravitational field have been revealed in the same intervals, coinciding with magnetic minima; when they coincide with $\Delta Z = 100\text{--}200$ NT, their prognostic significance increases (Figure 5) [12].

Electrical exploration revealed anomalies in the exocontact zones of apparent resistance $R_k = 300\text{--}600$ Ohms $\cdot$ m, corresponding to quarried and fractured rocks. At the same time, anomalies of induced polarization $n = 4\text{--}6\%$ exceeding the background values are recorded here. The combination of resistances of 300–600 Ohms $\cdot$ m and a polarizability of 4–6% is a reliable indicator of latent sulfide mineralization.

The gamma-ray survey data shows the variability of the radiation background associated with the lithological composition of granites and host rocks. Numerical values of gamma activity do not correlate with the $\Delta Z = 100\text{--}200$ NT and $n = 4\text{--}6\%$ zones, which is why the gamma radiometric feature is assessed as low in prognostic significance.

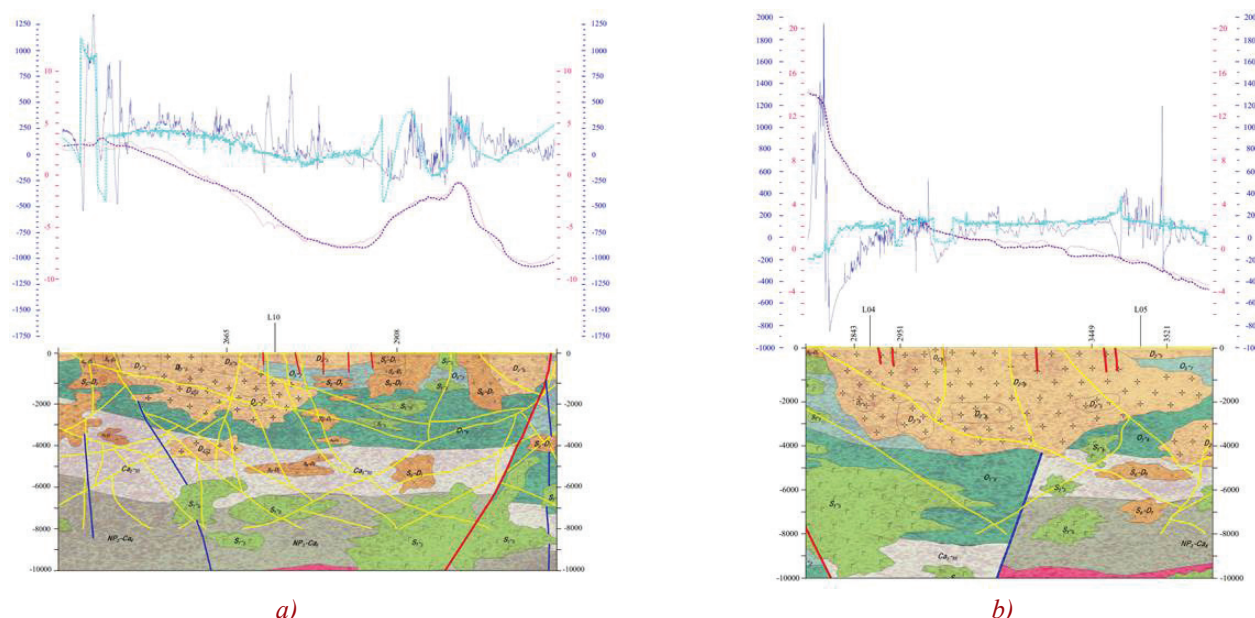
To compare the Karamendy (model), Terekty, and Kokkuduktoke intrusive complexes, diagnostic geological, structural, mineralogical, and geophysical features were summarized and ranked according to their prognostic significance, which were determined by expert assessments (Table 1).

In general, the Terekty intrusive complex is characterized by moderate ore prospects, realized in exocontact zones with a capacity of 10–50 m with a coincidence of crushing zones of 10–40 m, magnetic minima $\Delta Z = 100\text{--}200$ NT, anomalies of resistance $R_k = 300\text{--}600$ ohms $\cdot$ m and increased polarizability $n = 4\text{--}6\%$. Sites with this combination of features should be considered as the primary objects of further search and evaluation work.

For the Kokkuduktoke intrusive complex, the highest concentration of diagnostic features was established along profile L01, which features converging intrusive contacts, fault zones, increased fracturing, sulfide mineralization, and coordinated magnetic-gravity anomalies. This combination of features indicates favorable conditions for the development of hydrothermal mineralization. Profile L14 is assessed as moderately promising due to weaker manifestations of gravity-magnetic indicators and the remote influence of the intrusive body. Therefore, profile L01 should be considered a priority area for further exploration and appraisal work.

Conclusion

A comprehensive interpretation of new seismic, gravimagnetic, and electrical exploration data based on a system of extended profiles clarified the deep structure of the Terekty and Kokkuduktoke intrusive complexes and showed their close structural association with the system of regional and local faults in the southeastern part of the Sarysu-Teniz uplift. Intrusive bodies are characterized by a block structure, contrasting differentiation of magnetic and gravitational fields, and the presence of zones of increased electrical conductivity, reflecting tectonic disturbance and increased rock permeability, which are key conditions for the migration of hydrothermal fluids and the formation of ore mineralization. The most ore-favorable areas are associated with endo- and exocontacts of intrusions, crushing zones, and fault junctions of various kinematics, where consistent magnetic minima, local gravity depressions, and resistance/IP anomalies are recorded, interpreted as signs of hydrothermal processing and possible latent sulfide mineralization. Taking into account the previously established U-Pb geochronology of the Karamendy, Terekty and Kokkuduktoke complexes of the same age ($418 \pm 3\text{--}412$



a)

b)

Figure 5. Geological and geophysical sections by profiles: a) L05; b) L10 (fragments within the Terekty intrusive massif).
Сурет 5. Профильдер бойынша геологиялық және геофизикалық қималар: а) L05; б) L10 (Теректі интрузивті массивіндегі сынықтар).

Рис. 5. Геологические и геофизические разрезы по профилям: а) L05; б) L10 (фрагменты в пределах Теректинского интрузивного массива).

Table 1

Diagnostic features and their significance for assessing the ore prospects of intrusive complexes

Кесте 1

Диагностикалық ерекшеліктері және олардың интрузивті кешендер кенінің болашағын бағалаудағы маңызы

Таблица 1

Диагностические признаки и их значение для оценки перспектив рудообразования в интрузивных комплексах

Criteria	Karamendy (model)		Terekty		Kokkuduktoke	
	Sign	Significance	Sign	Significance	Sign	Significance
Contact area	Contact granites/granodiorites ↔ effusive O_3	5	Exocontacts of intrusion 10–50 m	5	Endo-/exocontacts of intrusion (marginal parts of the array)	5
Structural	Crushing and fracturing zones (315–345°); quartz veins (subparallel/spiral), 75–85° drop to the northeast	5	Crushing/fracturing zones 10–40 m	5	Proximity to discontinuous faults; areas of increased fracturing/ crushing	5
Magnetic	Local minimum ΔZ_a 200–300 γ (above vein zones); bends of the isolines ΔZ_a (faults); mosaic field -250...+2310 γ	5	Minimum $\Delta Z = 100$ –200 NT in contacts/ faults	3,5	Local minimum/kinks of ΔZ_a and contrasting gradients in the marginal part of the intrusive	3,5
Gravity	-	-	Local decreases in g, coinciding with ΔZ -minimum	5	Local decreases in the gravitational field consistent with magnetic signs	5
Electric (ρ)	ρ_k 1000–1300 ohms · m (quartz zones and dense bodies)	3,5	$\rho_k = 300$ –600 Ohms · m (contact areas)	3	-	-
Mineralogical	Sulfide mineralization(direct) Pyrite – chalcopyrite – molybdenum + hematite Gold is associated with pyrite (secondary)	5	Pyrite and chalcopyrite in the contact area Oxidized forms of copper Association of copper with silver and molybdenum	4	Sulfide mineralization Oxidized copper minerals	3,5
Comprehensive (key)	Combination: contact O_3 -intrusions + crushing zones + quartz veins + ΔZ_a -minima + high NP ($\pm$ EP-anomalies)	5+	Combination: contact + d crushing + $\Delta Z + \rho_k + \eta$ ($\pm$ g- minimum)	5+	Combination: contact + the fault zone + consistent magnetic and gravitational anomalies (+ mineralogical features)	5

± 3 million years) and their material and mineralogical similarity, the Terekty and Kokkuduktope complexes are reasonably considered as products of a single Early Devonian magmatic stage and as potentially ore-bearing objects comparable in genetic terms with the Karamendy complex (Zhaltyrbulak site).

Analysis of rating indicators (Table 1) indicates that the proximity of the average criterion of the Terekty complex is more significant, 91.7% relative to the model (Karamendy

complex) versus Kokkuduktope, which is 90%. Thus, the Terekty intrusive complex is preferable for conducting geological and geophysical studies at the stage of exploration of structures, for assessing the resources of gold-sulfide mineralization. The results obtained form a system of criteria and justify the priority of further predictive prospecting and prospecting and evaluation work on copper-gold mineralization within the contact fault zones of these intrusive massifs.

REFERENCES

1. Zoning, segmentation, and paleogeodynamics of the Devonian volcanic belt in Central Kazakhstan / A. M. Kurchavov et al. // *Geotectonics*. – 2000. – Vol. 34. – No. 4. – P. 284–293 (in English)
2. Features of geodynamic evolution of the north-eastern part of the Zhezkazgan Basin / Z. M. Mustafin et al. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2025. – No. 3. – P. 41–55 (in English)
3. Satpaev K. I. *Mednye mestorozhdeniya Zhezkazganskogo raiona* [Copper Deposits of the Zhezkazgan District]. – Alma-Ata: Izdatel'stvo Akademii nauk Kazakhskoi SSR, 1957 (in Russian)
4. *Mestorozhdeniya zolota Kazakhstana: spravochnik* [Gold Deposits of Kazakhstan: Handbook] Bespaev Kh. A., Globa V. A., Abishev V. M., Gulyaeva N. Ya. / ed. by A. A. Abdullin, Kh. A. Bespaev, E. S. Votsalevskii, S. Zh. Daukeev, L. A. Miroshnichenko. – Almaty: Informatsionno-analiticheskii tsentr geologii, ekologii i prirodnikh resursov Respubliki Kazakhstan, 1997. – 232 p. (in Russian)
5. New data of the age of the Sarysu-Teniz uplift intrusive complexes, Kazakhstan / A. I. Ibyrkhanova et al. // *Iraqi Geological Journal*. – 2025. – Vol. 58. – No. 2E. – P. 20–34 (in English)
6. Alperovich E. V. *Geologicheskaya karta Kazakhskoi SSR. Masshtab 1:500 000. Tsentral'no-Kazakhstanskaya seriya* [Geological Map of the Kazakh SSR. Scale 1:500 000. Central Kazakhstan Series]. – Leningrad: VSEGEI, 1981 (in Russian)
7. Kazimir V. T., Marichev K. I., Basov B. V., Bogach V. L., Isakov K. I. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnykh geologo-geofizicheskikh i geokhimicheskikh rabot masshtaba 1:10 000–1:2 000, provedennykh v yuzhnoi chasti Sarysu-Tengizskogo podnyatiya Sarysu-Tengizskoi partiei za 1967–1968 gg.* [Report on the Results of Complex Geological, Geophysical and Geochemical Surveys at Scales 1:10 000–1:2 000 Conducted in the Southern Part of the Sarysu-Tengiz Uplift by the Sarysu-Tengiz Party in 1967–1968]. – Zhezkazgan Geophysical Expedition, 1969 (in Russian)
8. Marichev K. I. *Otchet tematicheskoi partii Zhezkazganskoi geofizicheskoi ekspeditsii po teme: «Geokhimicheskoe raionirovanie territorii deyatel'nosti Zhezkazganskoi geofizicheskoi ekspeditsii v masshtabe 1:500 000 (tema Zh-3-2-54) za 1968 g.»* [Report of the Thematic Party of the Zhezkazgan Geophysical Expedition on the Topic: «Geochemical Zoning of the Territory of Activity of the Zhezkazgan Geophysical Expedition at a Scale of 1:500 000 (Theme Zh-3-2-54) for 1968»]. – Zhezkazgan Geophysical Expedition, 1968 (in Russian)
9. Geological-economic estimation of Kazakhstan deposits / G. I. Rudko et al. // *Sustainable Development of Mountain Territories*. – 2018. – Vol. 10. – No. 4. – P. 471–480 (in English)
10. Clark D. A. Magnetic effects of hydrothermal alteration in porphyry copper and iron-oxide copper-gold systems: A review // *Tectonophysics*. – 2014. – Vol. 624–625. – P. 46–65 (in English)
11. Aeromagnetic signature of porphyry copper systems in northern Chile and its geologic implications / G. Behn et al. // *Economic Geology*. – 2001. – Vol. 96. – No. 2. – P. 239–248 (in English)
12. Geophysical data provide three-dimensional insights into porphyry copper systems in the Silverton caldera, Colorado, USA / E. D. Anderson et al. // *Ore Geology Reviews*. – 2023. – Vol. 152. – Article 105223 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Орталық Қазақстандағы девон жанартаулық белдеуінің зоналылығы, сегментациясы және палеогеодинамикасы / А. М. Kurchavov [және т. б.] // *Geotectonics*. – 2000. – Т. 34. – № 4. – Б. 284–293 (ағылшын тілінде)
2. Жезқазған бассейнінің солтүстік-шығыс бөлігінің геодинамикалық эволюциясының ерекшеліктері / Z. M. Mustafin [және т. б.] // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2025. – № 3. – Б. 41–55 (ағылшын тілінде)
3. Сәтбаев Қ. И. *Жезқазған ауданының мыс кен орындары*. – Алматы: Қазақ КСР Ғылым академиясының баспасы, 1957 (орыс тілінде)
4. *Қазақстанның алтын кен орындары: анықтамалық* / Х. А. Беспаев, В. А. Глоба, В. М. Абишев, Н. Я. Гуляева [және т. б.] / ред. А. А. Абдуллин, Х. А. Беспаев, Е. С. Воцалевский, С. Ж. Дәукеев, Л. А. Мирошниченко. – Алматы: Қазақстан Республикасы Геология, экология және табиғи ресурстар ақпараттық-талдау орталығы, 1997. – 232 б. (орыс тілінде)

5. Қазақстандағы Сарысу-Теңіз көтерілімінің интрузивтік кешендерінің жасы туралы жаңа деректер / А. І. Ібырханова [және т. б.] // *Iraqi Geological Journal*. – 2025. – Т. 58. – № 2Е. – Б. 20–34 (ағылшын тілінде)
6. Альперович Е. В. Қазақ КСР-нің геологиялық картасы. Масштабы 1:500 000. Орталық Қазақстан сериясы. – Ленинград: ВСЕГЕИ, 1981 (орыс тілінде)
7. Казимир В. Т., Маричев К. И., Басов Б. В., Богач В. Л., Искаков К. И. 1967–1968 жж. Сарысу–Теңіз көтерілімінің оңтүстік бөлігінде Сарысу-Теңіз партиясы жүргізген 1:10 000–1:2 000 масштабтағы кешенді геологиялық-геофизикалық және геохимиялық жұмыстардың нәтижелері туралы есеп / Жезқазған геофизикалық экспедициясы. – 1969 (орыс тілінде)
8. Маричев К. И. Жезқазған геофизикалық экспедициясының тақырыптық партиясының «Жезқазған геофизикалық экспедициясы қызметінің аумағын 1:500 000 масштабта геохимиялық аудандастыру (Ж-3-2-54 тақырыбы)» бойынша 1968 жылғы жұмыстары туралы есебі / Жезқазған геофизикалық экспедициясы. – 1968 (орыс тілінде)
9. Қазақстан кен орындарын геологиялық-экономикалық бағалау / G. I. Rudko [және т. б.] // *Sustainable Development of Mountain Territories*. – 2018. – Т. 10. – № 4. – Б. 471–480 (ағылшын тілінде)
10. Clark D. A. Порфирлі мыс және темір-оксидті мыс-алтын жүйелеріндегі гидротермалдық өзгерістердің магниттік әсерлері: шолу // *Tectonophysics*. – 2014. – Т. 624–625. – Б. 46–65 (ағылшын тілінде)
11. Солтүстік Чилидегі порфирлі мыс жүйелерінің аэромагниттік белгілері және олардың геологиялық маңызы / G. Behn [және т. б.] // *Economic Geology*. – 2001. – Т. 96. – № 2. – Б. 239–248 (ағылшын тілінде)
12. Геофизикалық деректер АҚШ, Колорадо штатындағы Сильвертон кальдерасының порфирлі мыс жүйелері туралы үшөлшемді түсінік береді / E. D. Anderson [және т. б.] // *Ore Geology Reviews*. – 2023. – Т. 152. – 105223 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зональность, сегментация и палеогеодинамика девонского вулканического пояса Центрального Казахстана / А. М. Kurchavov [и др.] // *Geotectonics*. – 2000. – Т. 34. – №. 4. – С. 284–293 (на английском языке)
2. Особенности геодинамической эволюции северо-восточной части Жезказганского бассейна / Z. M. Mustafin [и др.] // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2025. – №. 3. – С. 41–55 (на английском языке)
3. Сатпаев К. И. Медные месторождения Жезказганского района. – Алма-Ата: Издательство Академии наук Казахской ССР, 1957 (на русском языке)
4. Месторождения золота Казахстана: справочник / Х. А. Беспяев, В. А. Глоба, В. М. Абишев, Н. Я. Гуляева [и др.] / под ред. А. А. Абдуллина, Х. А. Беспяева, Е. С. Воцалевского, С. Ж. Даукеева, Л. А. Мирошниченко. – Алматы: Информационно-аналитический центр геологии, экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1997. – 232 с. (на русском языке)
5. Новые данные о возрасте интрузивных комплексов Сарысу-Тенизского поднятия, Казахстан / А. І. Ібырханова [и др.] // *Iraqi Geological Journal*. – 2025. – Т. 58. – №. 2Е. – С. 20–34 (на английском языке)
6. Альперович Е. В. Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500 000. Центрально-Казахстанская серия. – Л.: ВСЕГЕИ, 1981 (на русском языке)
7. Казимир В. Т., Маричев К. И., Басов Б. В., Богач В. Л., Искаков К. И. Отчет о результатах комплексных геолого-геофизических и геохимических работ масштаба 1:10 000–1:2 000, проведенных в южной части Сарысу-Тенизского поднятия Сарысу-Тенизской партией за 1967–1968 гг. / Жезказганская геофизическая экспедиция. – 1969 (на русском языке)
8. Маричев К. И. Отчет тематической партии Жезказганской геофизической экспедиции по теме: «Геохимическое районирование территории деятельности Жезказганской геофизической экспедиции в масштабе 1:500 000 (тема Ж-3-2-54) за 1968 г.» / Жезказганская геофизическая экспедиция. – 1968 (на русском языке)
9. Геолого-экономическая оценка месторождений Казахстана / G. I. Rudko [и др.] // *Sustainable Development of Mountain Territories*. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – С. 471–480 (на английском языке)
10. Clark D. A. Магнитные эффекты гидротермальных изменений в порфировых медных и железоокисно-медно-золоторудных системах: обзор // *Tectonophysics*. – 2014. – Т. 624–625. – С. 46–65 (на английском языке)
11. Аэромагнитная характеристика порфировых медных систем Северного Чили и ее геологическое значение / G. Behn [и др.] // *Economic Geology*. – 2001. – Т. 96. – №. 2. – С. 239–248 (на английском языке)

12. Геофизические данные как основа трехмерного представления порфировых медных систем кальдеры Сильвертон, Колорадо, США / E. D. Anderson [и др.] // *Ore Geology Reviews*. – 2023. – Т. 152. – Ст. 105223 (на английском языке)

Information about the authors:

Ibyrkhanova A. I., PhD student of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), *i.altyнай33@gmail.com*; <https://orcid.org/0009-0007-1861-4739>

Portnov V. S., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), *vs_portnov@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0002-4940-3156>

Dosetova G. Zh., Ph.D, Head of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences, O. A. Baikonurov Zhezkazgan University (Zhezkazgan, Kazakhstan), *gulnara_joldasovna@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0002-0869-1577>

Tretyakov A. A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), *and8486@yandex.ru*; <https://orcid.org/0000-0002-1795-9715>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ибырханова А. И., Ph.D докторанты, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Портнов В. С., техника ғылымдарының докторы, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының профессоры, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Досетова Г. Ж., Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының меңгерушісі, О. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті (Жезқазған қ., Қазақстан)

Третьяков А. А., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, Ресей ғылым академиясының Геологиялық институты (Мәскеу қ., Ресей)

Сведения об авторах:

Ибырханова А. И., докторант Ph.D кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Портнов В. С., доктор технических наук, профессор кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Досетова Г. Ж., Ph.D, заведующая кафедрой «Горное дело, металлургия и естествознание», Жезказганский университет им. О. А. Байконурова (г. Жезказган, Казахстан)

Третьяков А. А., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Геологический институт Российской академии наук (г. Москва, Россия)

Код МРНТИ 38.37.15

А. Н. Копобаева¹, *Ә. Бақыт¹, А. Амангелдіқызы¹, В. В. Иванов²
¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті»
 коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан),
²«Ресей Ғылым академиясының Қиыр Шығыс геологиялық институты»
 (Владивосток қ., Ресей)

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАННЫҢ КӨМІРІНДЕГІ ЖӘНЕ КӨМІР КҮЛІНДЕГІ МИНЕРАЛДЫ ҚОСПАЛАР

Аннотация. Мақалада Шұбаркөл кен орны мен Қарағанды көмір бассейні көмірлері және олардың күлдерінің минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – көмір мен ілеспе жыныстардағы сирек жер элементтері (СЖЭ) мен микроэлементтердің таралу заңдылықтарын анықтау және олардың қалыптасу факторларын бағалау. Зерттеу барысында СЭМ, ІСР-МС және ІННА сияқты заманауи аналитикалық әдістер қолданылды. Нәтижесінде каолинит, кварц, пирит, сидерит минералдарының кең таралуы және СЖЭ әртүрлі деңгейде жинақталуы анықталды. Көмір құрамының қалыптасуына терригенді материал, магмалық және гидротермалдық процестер, сондай-ақ теңіздік жағдайлар әсер еткені көрсетілді. Зерттеудің жаңалығы – екі көмір бассейніндегі микроэлементтердің таралуын салыстырмалы бағалау және көмір күлін сирек металдардың әлеуетті көзі ретінде қарастыру.

Түйінді сөздер: көмір геохимиясы, сирек жер элементтері, микроэлементтер, күл, минералогиялық құрамы, Шұбаркөл кен орны, Қарағанды көмір бассейні.

Mineral impurities in coals and coal ash from Central Kazakhstan

Abstract. This article examines the mineralogical and geochemical characteristics of coals and their ash from the Shubarkol deposit and the Karaganda Coal Basin. The aim of the study is to identify the distribution patterns of rare earth elements (REE) and trace elements in coal and associated rocks, as well as to assess the factors controlling their formation. Analytical methods including SEM, ICP-MS, and INNA were applied. The results reveal the widespread occurrence of minerals such as kaolinite, quartz, pyrite, and siderite, along with variable levels of REE accumulation. It is shown that coal composition was influenced by terrigenous input, as well as magmatic, hydrothermal, and marine processes. The novelty of the study lies in the comparative evaluation of trace element distribution in two coal basins and in considering coal ash as a potential source of rare metals.

Key words: coal geochemistry, rare earth elements, trace elements, ash, mineralogical composition, Shubarkol deposit, Karaganda Coal Basin.

Минеральные примеси в углях и угольной золе Центрального Казахстана

Аннотация. В статье рассмотрены минералогические и геохимические особенности углей и их зол месторождения Шубарколь и Карагандинского угольного бассейна. Цель исследования – выявление закономерностей распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) и микроэлементов в углях и сопутствующих породах, а также оценка факторов их формирования. В работе использованы современные аналитические методы: сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ІСР-МС) и инструментальный нейтронно-активационный анализ (ІННА). Установлено широкое распространение каолинита, кварца, пирита и сидерита, а также различия в уровнях накопления РЗЭ. Показано влияние терригенного материала, магматических и гидротермальных процессов, а также морских условий. Новизна исследования заключается в сравнительной оценке распределения микроэлементов в двух угольных бассейнах и рассмотрении угольной золы как потенциального источника редких металлов.

Ключевые слова: геохимия угля, редкоземельные элементы, микроэлементы, зола, минералогический состав, месторождение Шубарколь, Карагандинский угольный бассейн.

Кіріспе

Энергияның негізгі көзі ретінде және әртүрлі өнеркәсіп салалары үшін шикізаттың бірі ретінде көмір ғылыми зерттеулердің басты нысаны болып табылады. Соңғы онжылдықтарда оның элементтік құрамын, атап айтқанда, қоспалардың болуын зерттеуге ерекше назар аударылуда. Көмірдегі және одан туындайтын күл қалдықтарындағы қоспалар тек қоршаған ортаны ластаушылар ғана емес, сонымен қатар геологиялық процестердің құнды индикаторлары, сондай-ақ сирек және бағалы элементтердің көздері болып табылады [1, 2, 3].

Орасан зор көмір бассейндеріне ие Орталық Қазақстан мұндай зерттеулер жүргізу үшін перспективалы аймақ болып табылады. Бұл аймақтың әртүрлі геологиялық жағдайларда қалыптасқан көмірлері литология, палеогеографиялық жағдай және тектоникалық тарих ерекшеліктерін көрсететін қоспалардың ерекше жиынтығын қамтуы мүмкін [1]. Орталық Қазақстан көмірлері мен күлдерінің элементтік құрамын түсіну тек көмірді өндіру және қайта өңдеу процестерін оңтайландыру үшін ғана емес, сонымен қатар оның экологиялық қауіпсіздігін бағалау, сондай-ақ жаңа пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу үшін де өте маңызды.

Соңғы жылдары көмірдің сирек кездесетін элементтерді өндірудің қайталама көзі ретіндегі ерекше рөліне көбірек көңіл бөлінді [2]. Қазіргі заманғы жоғары технологиялық салалар үшін маңызды болып табылатын бұл элементтер

көбінесе көмір қабаттары мен күлдерге шоғырланады, бұл оларды алудың жаңа мүмкіндіктерін ашады және дәстүрлі өндіру әдістеріне тәуелділікті азайтады.

Бұл мақала Орталық Қазақстанның көмір кен орындарының көмірі мен күліндегі қоспа элементтерін кешенді зерттеуге және сирек жер элементтерінің (СЖЭ) құрамы мен таралу заңдылықтарына баса назар аударылады. Зерттеудің мақсаты химиялық құрамның ерекшеліктерін анықтау, қоспалардың генетикалық түрлерін анықтау және қоршаған ортаға және өнеркәсіпке ықтимал әсерді бағалау, сондай-ақ аймақтың көмір кен орындарын СЖЭ көзі ретінде бағалау болып табылады. Нәтижелер аймақтың көмір кен орындарының геологиясын тереңірек түсінуге ықпал етеді және оның көмір ресурстарын, соның ішінде құнды сирек жер металдарының көзі ретінде ұтымды пайдаланудың жаңа перспективаларын ашады.

Зерттеу нысаны

Зерттеу нысаны ретінде Ортадық Қазақстан аумағына кіретін Шұбаркөл көмір кен орны мен Қарағанды көмір бассейнінің көмір қабаттары таңдалды. Шұбаркөл кен орны Сарысу-Теңіз көтерілімінің орталық бөлігінде, каледондық аккрециялық-катпарлы құрылымдар негізінде қалыптасқан. Ол ендік бағытта созылған, төменгі юралық континенттік шөгінділермен толтырылған асимметриялық мульда болып табылады. Қимасында жалпы қалыңдығы 5–47 м болатын үш көмір қабаты (жоғарғы, ортаңғы, тө-

менгі) бар. Негізгі жыныстар – құмтастар, алевролиттер, аргиллиттер және көмірлер.

Қарағанды көмір бассейні каледондық және герциндік құрылымдардың шовты аймағында орналасқан синклинорийдің батыс бөлігін қамтиды. Ол жарылымдармен бөлінген блоктардан тұрады және үш ірі синклинальмен (Шерубай-Нұра, Қарағанды, Жоғарғы Соқыр) сипатталады. Геологиялық құрылысы тас көмір және юра шөгінділерінен тұрады, іргетасы кембрий-силур жастағы метаморфталған кешенмен берілген.

Әдістемелер

Зерттеу жұмыстары барысында Шұбаркөл кен орны мен Қарағанды көмір бассейніндегі көмір қабаттары және олармен байланысты сазды жыныстар зерттелді. Сынамалар көмірден, көмірді сыйыстырушы сазды жыныстардан және көмір мен сазды қабаттардың жанасу аймақтарынан іріктелді. Сынамаларды алу бороздалық әдіс арқылы жүргізілді. Сынамалау көмір қабаттарының жабынынан табанына қарай қиылысу бағыты бойынша орындалды, бұл көмір қабаты мен ілеспе жыныстардың литологиялық өзгерістерін толық қамтуға мүмкіндік берді. Борозданың көлденең қимасы шамамен $0,05 \times 0,03$ м болды.

Шұбаркөл кен орнының Батыс және Орталық учаскелерінен 2В, 1В2, 1В1 көмір, сазды жыныстар және олардың жанасу аймақтарынан барлығы 120 сынама алынды.

Қарағанды көмір бассейнінде орналасқан κ_7 қабатының шегінде үш жұмыс істеп тұрған шахталардан сынамалар жиналды – Саран, Ақтас және Т. Күзембаев атындағы. Бұл учаскелерде көмір қабаттары және қалыңдығы 0,05–0,20 м аралығындағы ілеспе жыныстар зерттелді. Секциялар арасындағы қашықтық шамамен 500–800 м аралығында өзгеріп отырды, ал бірінші және соңғы секциялар арасындағы жалпы арақашықтық шамамен 2,9 км құрады. Қарағанды көмір бассейні бойынша көмір, сазды қабатшалар және олардың жанасу аймақтарынан барлығы 175 сынама жиналды.

Жалпы алғанда, екі кен орны бойынша зерттеу үшін 295 сынама іріктеліп, олардың минералдық және геохимиялық құрамын анықтауға бағытталған зертханалық талдаулар жүргізілді.

Шұбаркөл кен орнынан алынған сынамаларға геохимиялық талдаулар жүргізу мақсатында Томск ұлттық зерттеу политехникалық университеті радиациялық бақылау зертханасында аспаптық нейтрондық-активтендіру талдау әдісі (ИННА) қолданылды (аналитик – А. Ф. Судыко). Сонымен қатар, осы зертханада көмірдің минералдық құрамын және минералдардың жатыс формаларын анықтау үшін сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) әдісі пайдаланылды.

Қарағанды көмір бассейнінен алынған көмір және оның күліндегі сынамаларды зерттеу барысында химиялық құрамы ICP-OES, ICP-MS әдістерімен және минералды қоспаларды анықтау үшін негізгі зерттеу әдісі ретінде AZtecFeature бағдарламалық модулі бар аналитикалық сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) қолданылды. Бұл зерттеулер Ресей Ғылым академиясы Қиыр Шығыс бөлімшесінің Қиыр Шығыс геологиялық институты зертханасында жүргізілді.

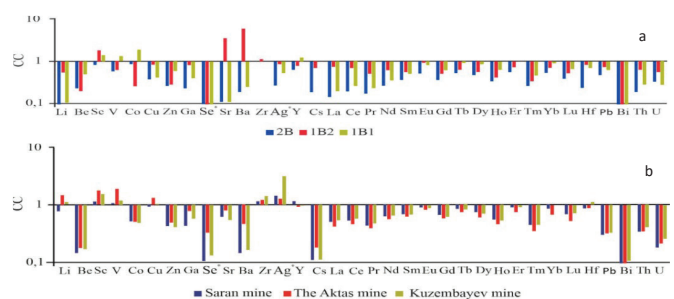
Алынған сынамалардың күлдеріне зерттеу жүргізу үшін көмір сынамаларын зертханалық жағдайда күлдендіру 650 градус температурада жүргізілді.

Зерттеу қортындылары

Юра дәуіріндегі (1а-сурет) және тас көмір дәуіріндегі (1б-сурет) шөгінділердің СЖЭ байытылу дәрежесін бағалау, [Ketris M. P., Yudovich Ya. E. 2009] бойынша, микроэлементтердің концентрациясы әлемдік көмірлердің орташа мәндеріне ($0,5 < CC < 2$) жақын екенін көрсетті. Шұбаркөл кен орнындағы көмір үлгілеріндегі қоспа элементтерінің таралуын талдау (1а-сурет) ірі ионды литофильді элементтердің (**Ba, Sr, Sc, Zr, V**) ең жоғары концентрацияға ие екенін, ал қалған СЖЭ-лердің орташа деңгейде екенін көрсетті. Ал тас көмір дәуіріндегі (1б-сурет) көмір үлгілерінде ионды литофильді (**Li, Sc, V, Zr, Hf, Y**) және халькофильді (**Ag, Cu, Co**) элементтер ең жоғары концентрацияға ие, сондай-ақ олар **As, Sb, Hg** элементтерімен байытылған.

Зерттеу нысандарының сазды жыныстарындағы қоспа элементтерінің таралуын талдау көрсеткендей, ең жоғары концентрацияға ірі ионды литофильді (**Sc, Ba, Sr**) және транзиттік (**Cr, Zn**) элементтер ие, ал қалған элементтер (**As, Ca, Fe, Sb**) салыстырмалы түрде орташа болып табылады. Жүргізілген талдау нәтижелері бойынша юра және тас көмір дәуірлерінің көмірлеріндегі СЖЭ концентрация коэффициенті (CC) бойынша таралуы LREE: **La-Nd** элементтерінің әлсіз көрсеткіштерін; MREE: **Sm-Dy** элементтерінің аздаған мөлшерін және HREE: **Ho-Lu** элементтерімен аздап байытылғанын көрсетті. Көмірлердегі СЖЭ таралу ерекшеліктерін анықтау үшін әлемдік көмірлердің, сондай-ақ Орталық Қазақстанның юра және тас көмірлерінің СЖЭ мәндерінің ЖКК (жоғарғы континентальды қабат) бойынша [Taylor S. R., McLennan S. M., 1985] нормаланған талдауы жүргізілді. Алынған деректерге сүйене отырып, көмір түзілу жасы мен жағдайларының айырмашылығына қарамастан, СЖЭ таралу сипатының сәйкес келу тенденциясы байқалады ($< 1,0$).

Әлемдік және Орталық Қазақстанның әртүрлі жастағы көмірлеріндегі СЖЭ таралу сипатының ұқсастығы СЖЭ сомасымен де расталады, ол юра көмірлерінде 13,3–90,6 аралығында, орташа мәні 56,38 болса, тас көмірлерінде 28,2–65,4 аралығында, орташа мәні 42,50 болады. Анықталған мөлшерлер әлемдегі көмір бойынша орташа мәннен аз [4] және ЖКК-ның тек үштен бір бөлігін ғана құрайды.



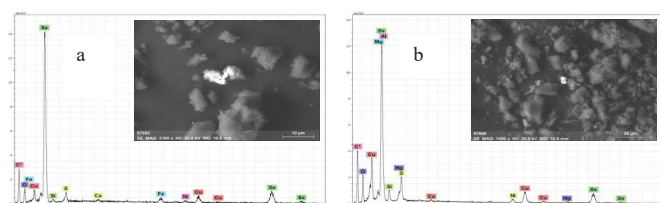
Сурет 1. (а) 2В, 1В2, 1В1 және (б) κ_7 қабаттарының көміріндегі микроэлементтердің CC.

Figure 1. CC of trace elements in the coals (a) of layers 2B, 1B2, 1B1 and (b) κ_7 .

Рис. 1. CC микроэлементов в углях (а) пластов 2В, 1В2, 1В1 и (б) пласта κ_7 .

Геохимиялық жіктеуге сәйкес, [2] ұсынған және орташа СЖЭ шоғырлануына қарай нормаланған [5] көмір кен орындарындағы СЖЭ байытылу заңдылықтары үш топқа бөлінді: жеңіл (L-тип) ($La_N / Lu_N > 1$), орташа (M-тип) ($La_N / Sm_N > 1 < 1$, $Gd_N / Lu_N > 1$) және ауыр (H-тип) ($La_N / Lu_N < 1$). Бұл жұмыста ұсынылған кен орындары бойынша орташаланған СЖЭ, $La_N / Lu_N \sim 1$ қатынасының мәндері бірден айтарлықтай аспайды. Зерттелген кен орындарындағы екі түрлі жастағы көмірлердегі La_N / Lu_N қатынасы 0,09–дан 2,74-ке дейін ауытқып отырады, бұл ауыр лантаноидтардың жеңілдерден басым екенін көрсетеді. Көмірлер СЖЭ төмен шоғырлануымен сипатталады және айқын М және Н-типті байытылуымен ерекшеленеді. Юра және тас көмір дәуіріндегі көмірлердегі СЖЭ таралу графиктері, оларды орташа СЖЭ нормалағанда, кен орындарының көмірлері Н және М-Н-типке жататынын және теріс Еу-аномалиясының жоқтығымен сипатталатынын растайды. Сондай-ақ, Шұбаркөл кен орнының юра көмірлеріне тән, кен орнының 2В, 1В2, 1В1 қабаттарында теріс церий аномалиясы δCe (0,1–0,8 аралығында ауытқиды) пайда болуы байқалады.

Бассейн көміріндегі микроэлементтердің таралу ерекшеліктері әртүрлі масштабтағы геологиялық факторлардың әсерімен анықталады. Бұл факторлар көмірдің жалпы геохимиялық спектрінің қалыптасуына, сондай-ақ жеке қабаттар мен шөгінділерде белгілі элементтермен байытылған көмірдің пайда болуына ықпал етеді. Көмірдің микроэлементтермен байытылуын анықтайтын негізгі факторлардың бірі – байыту көзінің құрамы. Байыту аймағындағы тау жыныстарының геохимиялық ерекшеліктері көмір бассейнінің жалпы геохимиялық фонының қалыптасуына әсер етеді. Алынған мәліметтер бастапқы аймақтың металлогениялық және геохимиялық ерекшеліктері элементтердің қабат ішінде әркелкі таралуына ықпал ететінін көрсетеді. СЭМ зерттеу нәтижелері бойынша Шұбаркөл кен орны көмірінің құрамында әртүрлі минералдық қоспалар анықталды. Олардың негізгі бөлігін алюмосиликаттар, сульфидтер және сирек жер элементтерінің микробөлшектері бар сульфаттар құрайды (2-сурет). Минералдық қоспалар барлық горизонттарда көбінесе аттитрит аймағында орналасқан пелитоморфты слюда-сазды агрегаттар түрінде кездеседі.



Сурет 2. (a) – Se қосылыстары бар мыс сульфиді, (b) – тиманнит (HgSe) қоспасы бар алюмосиликаттар.

Figure 2. (a) – copper sulfide with Se compounds, (b) – aluminosilicates with an admixture of timannite (HgSe).

Рис. 2. (a) – сульфид меди с соединениями Se, (b) – алюмосиликаты со смесью тиманнита (HgSe).

Пирит көмірде кең таралған минералдардың бірі болып табылады: ол жарықтарды толтыратын агрегаттар түрінде

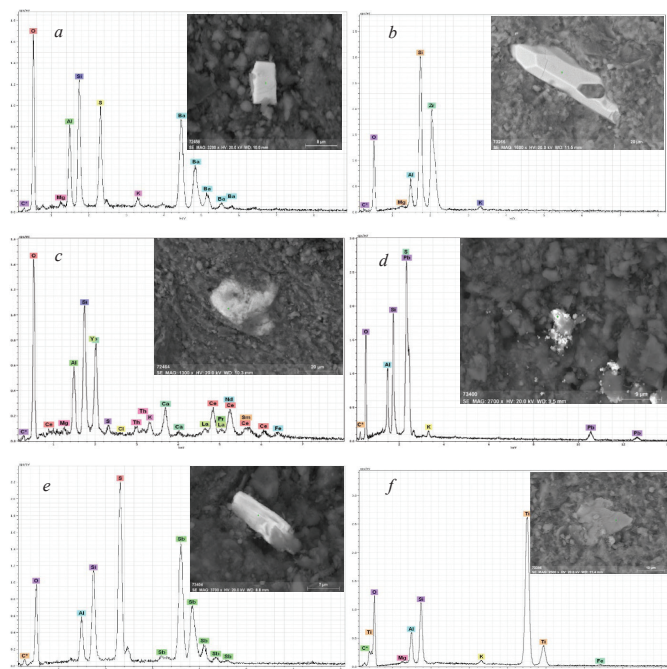
және гелификацияланған органикалық затпен шектелген оолиттер түрінде байқалады. Сонымен қатар көмірдің барлық типтерінде органикалық массада біркелкі таралған жеке семиокатонды кварц түйіршіктері кездеседі.

Шұбаркөл кен орнының жоғарғы және төменгі горизонттардың көмірлері сидерит сферулиттерінің болуымен ерекшеленеді, бұл көмірдің түйіршікті құрылымының қалыптасуына ықпал етеді. Жарықтар бойында жиі гипс пен каолинит қабықшалары байқалады, ал өсімдік тіндерінің жасушалық қуыстарын толтыратын кальцит сирек кездеседі. Жоғарғы горизонт қабаттары үшін мөлшері 2–30 мм аралығындағы оолиттерден тұратын ерекше минералдық ассоциация тән. Бұл түзілімдер әдетте қара-қоңыр түсті, борпылдақ құрылымды және механикалық әсерге оңай ыдырайды. Сазды жыныстар мен олардың құрамындағы каолиниттер және басқа да СЖЭ жинақтаушы минералдар, гранитоидты жыныстардың шайылуы мен жер асты суларының арқылы, сазды жыныстар құрамына енген болуы мүмкін. Бұл туралы тектоникалық қозғалыстарын сипаттағанда да толығырақ айтылып өтті. Минералдардың концентрациясы мен олардың көмір және оны сыйыстырушы жыныстарда кездесу формалары оған дәлел бола алады.

Кен орнының Батыс қимасының 1 бөлімшесінен алынған сынамаларға талдау жасалынды. Нәтижесінде әрбір сынама бойынша бірнеше кескіндер мен олардың химиялық құрамы көрсетілген спектрограммалар іріктелініп алынды (3-сурет). Аргиллиттер құрамында барит, циркон, монацит, галенит, антимонит және титанит (сфен) минералдары анықталды. Бұл минералдар жыныстарда көбінесе ұсақ шашыранды түйіршіктер, призма тәрізді және ине тәрізді кристалдар, радиалды-сәулелі агрегаттар немесе линза тәрізді окшауланулар түрінде кездеседі.

Минералдардың морфологиялық ерекшеліктері мен химиялық құрамы олардың әртүрлі генетикалық шығу тегін көрсетеді. Барит, галенит және антимонит сияқты минералдардың болуы аргиллиттердің қалыптасуында гидротермалдық процестердің ықпалын байқатса, циркон, монацит және титанит минералдары көбінесе магмалық жыныстармен байланысты болып келеді. Бұл минералдардың айқын кристалдық пішіндерінің сақталуы олардың бастапқы магмалық жыныстардан үгілу, шайылу және тасымалдану нәтижесінде шөгінді ортаға түскенін көрсетеді. Минералдық кешен құрамында сирек жер элементтерін жинақтай алатын монацит сияқты минералдардың болуы аргиллиттердің сирек элементтерге қатысты геохимиялық ерекшеліктерін түсіндіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар сульфидті минералдардың, әсіресе галениттің, кездесуі көмір қабаттарымен байланысты жыныстарда халькофильді элементтердің жиналуымен байланысты геохимиялық процестердің жүргенін көрсетеді.

Сондай-ақ Қарағанды көмір бассейнінен алынған мәліметтерге сәйкес, үш шахтадағы қоспа элементтер құрамы зерттелген қабат ішіндегі сазды жыныстарда жалпы біркелкі таралумен ұсынылған. Кейбір элементтердің концентрациясы (Li , Ga) жаһандық шөгінді жыныстардың орташа мәндеріне жақын ($2 < CC < 5$), сонымен қатар Se ($5 < CC < 10$) байытуы бар. Ал Li , Be , Ga , Se , Ag , Bi және Th элементтері кларктың мөлшерінен асып түседі. Көмірдегі бірдей элементтердің құ-

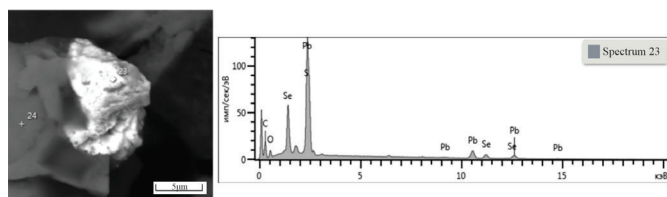


Сурет 3. Аргиллит құрамындағы минералды қоспалар: (a) – барит, (b) – циркон, (c) – монацит, (d) – галенит, (e) – антимонит, (f) – титанит.

Figure 3. Mineral inclusions in argyllite: (a) – barite, (b) – zircon, (c) – monacite, (d) galenite, – (e) antimonite, (f) – titanite.

Рис. 3. Минеральные включения в аргиллите: (a) – барит, (b) – циркон, (c) – монацит, (d) – галенит, (e) – антимонит, (f) – титанит.

рамымен салыстырғанда сазды қабаттарда *Be*, *Ga*, *Bi* және *Th* құрамының жоғарылауы байқалады. СЭМ зерттеулер нәтижесінде сазды қабаттарда *Se* мөлшері кларк ($5 < CC < 10$) деңгейінен айтарлықтай жоғары екені анықталды және оның (*Se*) кейбір минералдары анықталды. Қорғасын селенидің бірнеше түйірлері – клаусталит (*PbSe*) (4-сурет), құрамында селен бар галенит (*PbS* + *Se*) (5a-сурет) және *PbS* (*Se*, *Bi*) (5b-сурет) түйірлері анықталды.

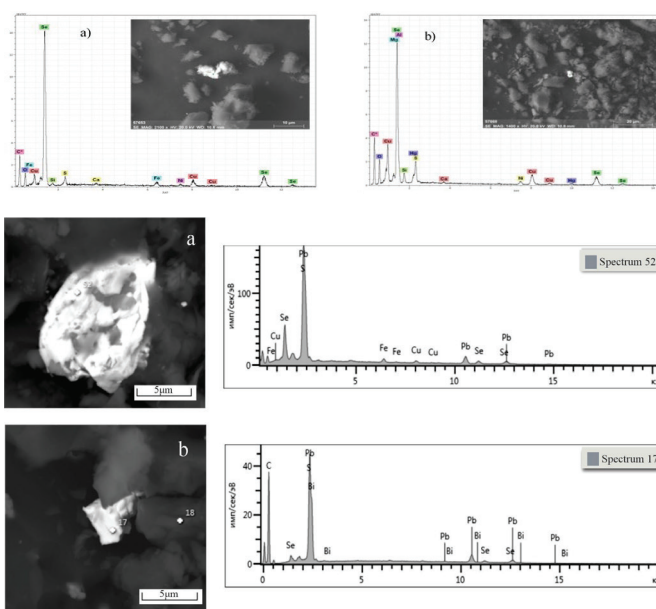


Сурет 4. Сазды қабат сынамасындағы клаусталит.

Figure 4. Clausthalite in clay layer sample.

Рис. 4. Клаусталит в образце глинистого слоя.

Селеннің әлемдік тас көмірлердегі орташа мәні (1.0 ± 0.15 г/т), Шұбаркөл кен орнының үгітілген көмірлерінде селеннің концентрациясы кларктық мәнге жуық деңгейде байқалады. Ол көбінесе мыс пен темір сульфидтерімен немесе алюмосиликатты шоғырлармен бірге кездеседі (6-сурет a, b). Селеннің негізгі минералдық формасы – тиманнит, ол ұсақ түйіршіктер түрінде таралған.

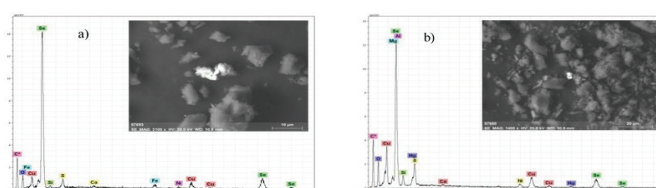


Сурет 5. Se түйірлері бар галенит, (a) – сазды қабат сынамасы, (b) – көмір мен сазды қабат жанасу аймағының сынамасы.

Figure 5. Galena with Se grains, (a) – sample of the clay layer, (b) – sample of the coal-clay layer contact zone.

Рис. 5. Галенит с зернами Se, (a) – проба глинистого слоя, (b) – проба зоны контакта угольного и глинистого слоя.

Скандий бүгінде әлемдік экономикадағы маңызы қарқынды артып келе жатқан аса маңызды стратегиялық металдардың қатарына жатады. Осыған байланысты ол зерттелген сынамалар құрамынан іздестіріліп, арнайы қарастырылды. Қарағанды көмір бассейнінен алынған үлгілерге жүргізілген зерттеулер нәтижесінде скандийдің дербес минералдық нысандары анықталған жоқ.



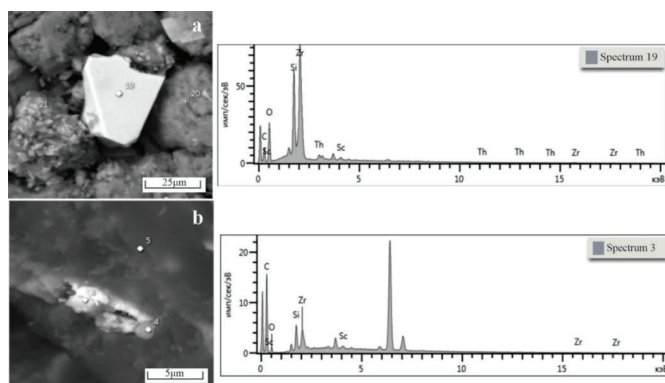
Сурет 6. (a) – Se қосындылары бар мыс сульфидтері, (b) – тиманнит (*HgSe*) қосындылары бар алюмосиликаттар.

Figure 6. (a) – copper sulfides with Se inclusions, (b) – aluminosilicates with thymannite (*HgSe*) inclusions.

Рис. 6. (a) – сульфиды меди с включениями Se, (b) – алюмосиликаты с включениями тиманнита (*HgSe*).

Se-тың бірлік мөлшердегі қосындылары ($< 1\%$) көмір үлгілеріндегі циркон дәндерінен (7a-сурет), сондай-ақ көмір мен сазды қабаттардың жанасу аймақтарынан алынған үлгілерден (7б-сурет) табылды. [6] деректеріне сәйкес, көмірде дербес минералдардың болмауы және сонымен қатар скандийдің салыстырмалы түрде жоғары мөлшерде кездесуі оның органикалық ассоциациямен байланысты

екенін көрсетеді және бассейн көміріндегі скандийдің жиналуында сутектік (водородный) механизмнің рөл атқаруы мүмкін екенін болжайды.

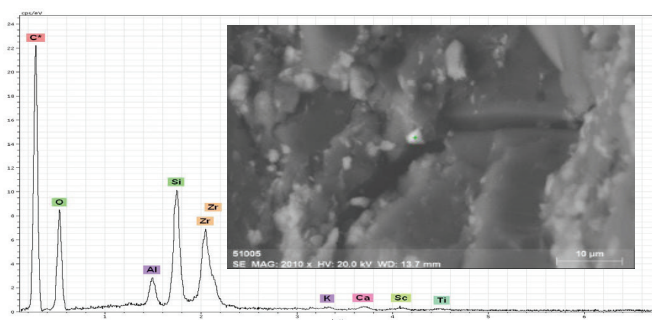


Сурет 7. Th және Sc (a) қоспалары бар көмір сынамадағы циркон түйірі және (b) Sc қоспалары бар көмір мен саз қабаты арасындағы жанасу аймағы сынамасы (КН-53).

Figure 7. Zircon grain with Th and Sc impurities (a) in the coal sample and (b) in the contact zone between the coal layer and the clay with Sc impurities (КН-53).

Рис. 7. Зерно циркона с примесями Th и Sc (a) в угольной пробе и (b) пробе зоны контакта между слоем угля и глины с примесями Sc (КН-53).

Алынған сканерлеуші микроскопия нәтижелері бойынша Шұбаркөл кен орнында күрделі құрамды *Si-Al-Ca-Zr-Sc-Ti-O* (~0,66% Sc) анықталмаған скандийлі минералды бөлшек (8-сурет) табылған. Бұл материалдар жекелеген аутигенді минералды түзілімдер болып табылады, бірақ олардың үлесі өте аз және үлгілерде анықталған Sc жалпы мөлшерін қамтымайды. Көмірлерде оның Zr аналогы бар күрделі құрамды (*Al-Si-Zr-K-Ca-Sc-Ti*) минералды қоспалар бөлініп алынды, сондай-ақ цирконий мен гафнийдің негізгі концентраторлары ретінде қарастырылуы мүмкін ұсақ циркон дәндері мен титан оксидтерінің болуы анықталды.



Сурет 8. Идентификацияланбаған скандийлі минерал.

Figure 8. Unidentified scandium-bearing mineral.

Рис. 8. Неидентифицированный скандийносный минерал.

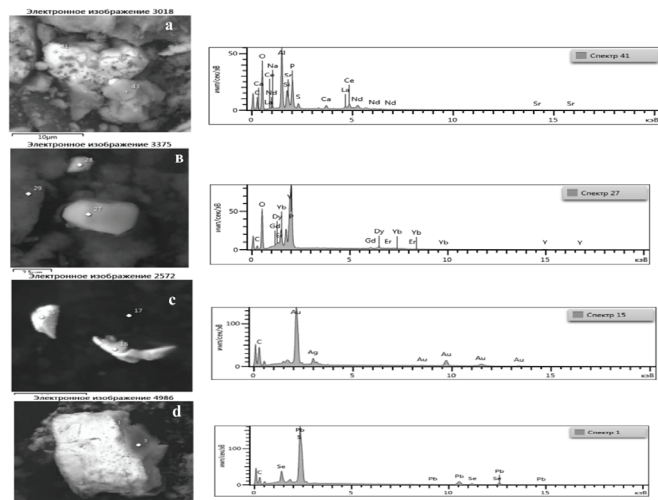
Көмірде скандийдің жинақталу шарттары жеткілікті зерттелмеген: колда бар деректер фрагментті және қа-

рама-қайшы, оның орналасу формалары мен шоғырлану механизмдері туралы бірыңғай түсінік жоқ. Скандийдің жинақталуы негізінен көмірдің минералды құрамдас бөлігінің маңызды рөлімен сингенетикалық сипатта болады, бұл көмір мен күлдің Sc құрамы арасындағы тікелей корреляциямен расталады. Сонымен қатар, күлі төмен байытылған көмірде органикалық байланысқан скандийдің үлесі артады, ал күлі жоғары көмірде кластогендік форма басым болады. Скандийдің эпигенетикалық жинақталуы шектеулі және негізінен шығыс бөлігінің тотыққан көмірімен шектелген, бұл көмір қабаттарының атмосфералық және тотығу процестерімен байланысты [7]. k_7 қабатының көмірі мен сазды қабаттарында пириттің көп мөлшері негізінен массивті және қаңқа тәрізді дәндер мен пиритизацияланған ұлпалар түрінде кездеседі. Қарағанды көмір бассейнінің көмірінде кездесетін S жоғары мөлшері бактериялардың белсенділігінің нәтижесі болуы мүмкін, оған теңіз суындағы сульфат иондарының көбеюі әсер етеді [8]. Сингенетикалық пириттің болуы көбінесе теңіз суының көмір қабаттарына еніп, сульфидті минералдар түзу үшін күкірт көзі ретінде қызмет ететіндігін көрсетеді [9]. Бұл бассейнінің палеогеографиясын анықтауға байланысты бұрынғы зерттеулермен [10] расталады. Бұл зерттеулер аумақтағы регрессивті және трансгрессивті жағдайлар олигоценге дейін бір-бірін алмастырды деп мәлімдейді.

Көмір түзілу кезеңінде (визей жасы) бассейн аумағында теңіз деңгейінің ауытқуы басым болды. [11] сәйкес k_7 қабатынан алынған көмір үлгілері үшін $> 1,0$ болатын *Sr/Ba* қатынасы (орташа ~2,38) негізгі шөгінділердің пайда болуы мен байытуындағы теңіз суының әсерін көрсетеді.

Көмірдің минералдану дәрежесін анықтайтын негізгі көрсеткіш – бұл күлділік болып табылады, ал ол өз ішінде ішкі күлділік (яғни көмірдің табиғи күлі) және сыртқы күлділік (бос жыныстардың араласуынан) болып бөлінеді [12]. Күлдің құрамы күрделі әрі әр түрлі генетикалық типке жататын минералды қоспалардан тұрады. Қарағанды көмір бассейнінің көмірінің күлділігі орташа есеппен 10–40 %, ал Шұбаркөл кен орнының күлділігі 4–20% арасында ауытқиды. Күлділігі жоғары болған сайын әр түрлі минералды қоспалардың көбірек шоғырлануы заңдылық болып табылады.

СЭМ талдауы Шұбаркөл кен орнынан және Қарағанды бассейнінің көмірден, сазды жыныстардан және олардың жанасу аймақтарының күлінен алынған сынамаларға жасалынды. Сынамалау барысында күлдің құрамынан биогенді генетикалық типке жататын Co түйіршіктері көбінесе W және Ni қосылыстарымен қатар жүретіні байқалды. Келесі сорбциялық типке жататын минералдардан гематит, кальцит және алюминий қосылыстары, конкрециялық типтен сидерит, пирит, каолинит минералдары, терригенді класқа жататын кварц, циркон сондай-ақ мөлшері шөгінді жыныстар кларкінен асып түсетін СЖЭ (*Ce, La, Nd, Y, Dy, Er, Yb*) Sr қоспасымен көп кездесетіні байқалды. Тағы бір тип инфильтрациялық минералдардан сфалерит, галенит, арсенопирит және басқа да метал сульфидтері сонымен қатар бағалы металдар қатарына жататын алтын мен күміс түйірлері (*AuAg* электрум?) анықталды (9 сурет).



Сурет 9. Көмір және сазды қабаттар күлінен алынған сынамалардың спектрограммалары, мұндағы (а) каолинит СЖЭ қоспаларымен, (б) Y (Dy,Gd,Er)PO түйіршіктері, (с) электрум (AuAg), (д) галенит Se қосындыларымен.

Figure 9. Spectrograms of coal ash and clay shale ash samples, where (a) kaolinite with REE impurities, (b) Y (Dy,Gd,Er)PO granules, (c) electrum (AuAg), (d) galena with Se impurity.

Рис. 9. Спектрограммы проб золы углей и глинистых сланцев, где (а) – каолинит с примесями РЗЭ, (б) – гранулы Y (Dy,Gd,Er)PO, (с) – электрум (AuAg), (д) – галенит с примесью Se.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер Шұбаркөл кен орны мен Қарағанды көмір бассейні көмірлерінің, оларды сыйыстырушы жыныстар мен күлдерінің минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері көмір мен сазды жыныстар құрамында микроэлементтер мен сирек жер элементтерінің таралуы геологиялық ортаның күрделі эволюциясымен және әртүрлі генетикалық факторлардың әсерімен қалыптасқанын көрсетті.

Көмірлер мен аргиллиттердің минералдық құрамында каолинит, кварц, пирит, сидерит, барит және циркон сияқты

минералдардың кең таралғаны анықталды. Сонымен қатар кейбір үлгілерде монацит, галенит, антимонит және титанит сияқты сирек минералдардың болуы сирек жер элементтері мен басқа да микроэлементтердің минералдық тасымалдаушылары ретінде маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Сканерлеуші электрондық микроскопия нәтижелері көмір мен ілеспе жыныстардағы минералдардың әртүрлі генетикалық типтерге жататынын және олардың көмір түзілу процестерімен тығыз байланысты екенін дәлелдеді.

Зерттеу барысында көмірдегі микроэлементтердің таралуына әсер ететін негізгі факторлар анықталды. Оларға терригенді материалдың түсуі, магмалық және гидротермалдық процестер, сондай-ақ теңіздік орта әсері жатады. Минералдық құрамдағы циркон, барит және басқа да магмалық генезиске ие минералдардың болуы бастапқы жыныстардың шайылуы мен тасымалдануы нәтижесінде көмір түзілу бассейндеріне түскенін көрсетеді. Сонымен қатар пириттің кең таралуы көмір түзілу кезеңінде теңіз суларының ықпалы мен бактериялық процестердің маңызды рөл атқарғанын дәлелдейді.

Көмір күлінің минералдық құрамын зерттеу нәтижелері онда әртүрлі генетикалық типке жататын минералдардың кездесетінін көрсетті. Күл құрамында каолинит, кварц, циркон, пирит, сидерит, сондай-ақ сирек жер элементтерімен байытылған фосфаттар мен металл сульфидтері анықталды. Кейбір үлгілерде алтын мен күмістің микробөлшектері болуы көмір күлінің әлеуетті минералдық шикізат ретінде маңызын арттырады.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Орталық Қазақстан көмірлерінің геохимиялық ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және көмір мен оның күлін сирек жер элементтері мен басқа да бағалы микроэлементтердің ықтимал қосымша көзі ретінде қарастыруға негіз болады. Сонымен қатар бұл зерттеулер көмір кен орындарын тиімді пайдалану, олардың экологиялық әсерін бағалау және көмірді кешенді өңдеу технологияларын дамыту үшін маңызды ғылыми негіз қалыптастырады.

Алғыс

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің гранты (№AP26102801) негізінде жүргізілген зерттеулер қорытындысы бойынша жазылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Майкүбінгі көмір бассейнінің геохимиялық ерекшеліктері (Қазақстан) / А. Н. Копобаева [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені. – 2025. – № 9. – Б. 135–150 (орыс тілінде)
2. Zhang Y., Liu X., Zhao W. Қытайдағы көмірмен байланысты Al–Ga–Li–СЖЭ кен орындары: шолу // Minerals. – 2025. – Т. 15. – № 1. – 74 (ағылшын тілінде)
3. Мұровдаг кенді ауданының (Кіші Кавказ) магмалық және метасоматикалық тау жыныстарындағы сирек жер элементтері / Н. А. Имамвердиева [және т. б.] // Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 2. – Б. 178–184 (орыс тілінде)
4. Григорьев Н. А. Құрлықтық жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі химиялық элементтердің таралуы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 383 б. (орыс тілінде)
5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Көмірлердегі бағалы элемент-қоспалар. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 б. (орыс тілінде)
6. Сахалин көмір бассейнінің геохимиясы және сирек металдық әлеуеті (Сахалин аралы, Ресей) / С. И. Арбузов [және т. б.] // Көмір геологиясының халықаралық журналы. – 2023. – Т. 268. – 104197 (орыс тілінде)

7. Шұбаркөл кен орнының юра көмірлерінің минералогиясы мен геохимиясы / А. Амангелдіқызы [және т. б.] // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары. – 2021. – Т. 5. – № 449. – Б. 23–31 (ағылшын тілінде)
8. Кейбір жоғары күкіртті үнді палеоген көмірлерінің минералогиялық және элементтік талдауы: статистикалық тәсіл / В. К. Saikia [және т. б.] // *Energy Fuels*. – 2015. – № 29. – Б. 1407–1420 (ағылшын тілінде)
9. Nayak B. Meghalaya's (India's) high-sulfur tertiary coals: mineralogical and geochemical characteristics of pyrite and pyritic matter // *Journal of the Geological Society of India*. – 2013. – Т. 81. – № 2. – Б. 203–214 (ағылшын тілінде)
10. Қарағанды көмір бассейнінің геологиясы / Бекман В. М., Сейдалинов О. А., Зинова Р. А. [және т. б.]. – Мәскеу: Недра, 1972. – 416 б. (орыс тілінде)
11. Циньшуй бассейнінің оңтүстік-шығыс бөлігіндегі көмірдің минералогиялық және геохимиялық сипаттамалары: Li және REY-дің шоғырлануы мен экономикалық құндылығына әсері / Ю. Хоу [және т. б.] // *International Journal of Coal Geology*. – 2022. – Т. 264. – 104136 (ағылшын тілінде)
12. Пашков Г. Л. Табиғи көмір күлі – сирек кездесетін элементтердің дәстүрлі емес шикізат көзі // *Соросов білім беру журналы*. – 2001. – Т. 7. – № 11. – Б. 67–72 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Geochemical features of the Maikuben coal basin (Kazakhstan)* / A. N. Kopobayeva et al. // *Mining Information and Analytical Bulletin*. – 2025. – No. 9. – P. 135–150 (in Russian)
2. Zhang Y., Liu X., Zhao W. Coal-Hosted Al–Ga–Li–REE Deposits in China: A Review // *Minerals*. – 2025. – Vol. 15. – No. 1. – Art. 74 (in English)
3. *Redkozemel'nye elementy v magmaticheskikh i metasomaticheskikh porodakh Murovdagskogo rudnogo raiona (Malyi Kavkaz)* [Rare Earth Elements in Magmatic and Metasomatic Rocks of the Murovdag Ore Region (Lesser Caucasus)] N. A. Imamverdiyeva et al. *Geokhimiya* [Geochemistry]. – 2020. – Vol. 65. – No. 2. – P. 178–184 (in Russian)
4. Grigorev N. A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinental'noi kory* [Distribution of Chemical Elements in the Upper Part of the Continental Crust]. – Yekaterinburg: Ural'skoe otделение Rossiiskoi akademii nauk, 2009. – 383 p. (in Russian)
5. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Tsenye elementy-primesi v uglyakh* [Valuable Trace Elements in Coals]. – Yekaterinburg: Ural'skoe otделение Rossiiskoi akademii nauk, 2006. – 538 p. (in Russian)
6. *Geokhimiya i redkometal'nyi potentsial uglei Sakhalinskogo ugol'nogo basseina* [Geochemistry and Rare Metal Potential of Coals from the Sakhalin Coal Basin] S. I. Arbuzov et al. *Mezhdunarodnyi zhurnal geologii uglya* [International Journal of Coal Geology]. – 2023. – Vol. 268. – Article 104197 (in Russian)
7. *Mineralogy and Geochemistry of Jurassic Coals from the Shubarkol Deposit* / A. Amangeldiqyzy et al. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. – 2021. – Vol. 5. – No. 449. – P. 23–31 (in English)
8. *Mineralogical and elemental analysis of some high-sulfur Indian Paleogene coals: A statistical approach* / B. K. Saikia et al. // *Energy Fuels*. – 2015. – No. 29. – P. 1407–1420 (in English)
9. Nayak B. *Mineral Matter and Nature of Pyrite in Some High-Sulphur Tertiary Coals of Meghalaya, North-Eastern India* // *Journal of the Geological Society of India*. – 2013. – No. 81. – P. 203–214 (in English)
10. *Geologiya Karagandinskogo ugol'nogo basseina* [Geology of the Karaganda Coal Basin] Bekman V. M., Seidalin O. A., Zinova R. A. et al. – Moscow: Nedra, 1972. – 416 p. (in Russian)
11. *Mineralogical and Geochemical Characteristics of Coal from the Southeastern Qinshui Basin: Implications for the Enrichment and Economic Value of Li and REY* / Y. Hou et al. // *International Journal of Coal Geology*. – 2022. – Vol. 264. – Article 104136 (in English)
12. Pashkov G. L. *Zoly prirodnykh uglei – netraditsionnyi syr'evoi istochnik redkikh elementov* [Ashes of Natural Coals – An Unconventional Raw Material Source for Rare Elements] // *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal* [Soros Educational Journal]. – 2001. – Vol. 7. – No. 11. – P. 67–72 (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Геохимические особенности Майкубенского угольного бассейна (Казахстан)* / А. Н. Копобаева [и др.] // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2025. – № 9. – С. 135–150 (на русском языке)
2. Zhang Y., Liu X., Zhao W. *Угленосные месторождения Al–Ga–Li–PЗЭ в Кумае: обзор* // *Minerals*. – 2025. – Т. 15. – № 1. – Ст. 74 (на английском языке)
3. *Редкоземельные элементы в магматических и метасоматических породах муровдагского рудного района (малый Кавказ)* / Н. А. Имамвердиева [и др.] // *Геохимия*. – 2020. – Т. 65. – № 2. – С. 178–184 (на русском языке)
4. Григорьев Н. А. *Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры*. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 383 с. (на русском языке)

5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 с. (на русском языке)
6. Геохимия и редкометалльный потенциал углей Сахалинского угольного бассейна (о. Сахалин, Россия) / С. И. Арбузов [и др.] // Международный журнал геологии угля. – 2023. – Т. 268. – Ст. 104197 (на русском языке)
7. Минералогия и геохимия юрских углей Шубаркольского месторождения / А. Амангелдіқызы [и др.] // Известия национальной академии наук Республики Казахстан. – 2021. – Т. 5. – № 449. – С. 23–31 (на английском языке)
8. Минералогический и элементный анализ некоторых высокосернистых индийских палеогеновых углей: статистический подход / В. К. Saikia [и др.] // Energy Fuels. – 2015. – № 29. – С. 1407–1420 (на английском языке)
9. Nayak B. Минеральное вещество и природа пирита в некоторых высокосернистых третичных углях Мегхалаи, Северо-Восточная Индия // Journal of the Geological Society of India. – 2013. – Т. 81. – № 2. – С. 203–214 (на английском языке)
10. Геология Карагандинского угольного бассейна / Бекман В. М., Сейдалин О. А., Зинова Р. А. [и др.]. – М.: Недра, 1972. – 416 с. (на русском языке)
11. Минералогические и геохимические характеристики угля юго-восточной части бассейна Циньшуй: влияние на обогащение и экономическую ценность Li и REY / Ю. Хоу [и др.] // International Journal of Coal Geology. – 2022. – Т. 264. – Ст. 104136 (на английском языке)
12. Пашков Г. Л. Золы природных углей – нетрадиционный сырьевой источник редких элементов // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 11. – С. 67–72 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Копобаева А. Н., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), kopobayeva@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0601-9365>

Бақыт Ә., докторант «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), aigerimb200@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0661-310X>

Амангелдіқызы А., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан), a.amangeldykyzy@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6665-8804>

Иванов В. В., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, микро және нано зерттеулер зертханасының меңгерушісі, Ресей Ғылым академиясының Қиыр Шығыс геологиялық институты (Владивосток қ., Ресей), d159327@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7917-9757>

Information about the authors:

Kopobayeva A. N., Ph.D, Associate Professor (Associate Professor) of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Bakyt A., doctoral student in the specialty «Geology and exploration of mineral deposits», Master of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Amangeldykyzy A., Ph.D, Associate Professor (Associate Professor) of the Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov (Karaganda, Kazakhstan)

Ivanov V. V., candidate of Geological and Mineralogical Sciences, leading researcher, head of the Laboratory of Micro- and Nanoresearch, Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia)

Сведения об авторах:

Копобаева А. Н., доктор Ph.D, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Бақыт А., докторант по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», магистр технических наук, Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Амангелдықызы А., доктор Ph.D, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Иванов В. В., канд. геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией микро- и наноисследований, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (г. Владивосток, Россия)



MINEX '26
EUROPE
 IRELAND

28-30 October, Trim, Ireland

Europe's Mining: Investable, Sustainable, Essential

The 10th MINEX Europe Mining & Exploration Forum

ABOUT MINEX FORUM MINEX

Forum was founded by Advantix Ltd. in 2005 to stimulate international cooperation in the field of sustainable development of mining and metallurgical production in Eurasian countries. Over the years, the MINEX Forum has become one of the most authoritative international events in Europe and Central Asia. The Forum's ecosystem brings together thousands of specialists from hundreds of companies and organisations around the world.



Код МРНТИ 38.49.17

Е. Т. Бекишев¹, *М. Е. Рахымбердина¹, Е. Levin², А. К. Капасов¹¹«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан),²Мехарри атындағы қолданбалы есептеу ғылымдары мектебі (Нешвилл қ., АҚШ)

АСУБҰЛАҚ КЕН ӨРІСІНІҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАЛДАУ

Аннотация. Бұл зерттеуде Қалба-Нарын кен белдеуіндегі Асубұлақ кен өрісінің тарихи геологиялық деректері (геологиялық, геофизикалық және геохимиялық карталар) цифрлық форматқа ауыстырылып, тұрақты нүктелер негізінде деректер жиынтығы құрылды. Машиналық оқыту әдістерін қолдану арқылы кеңістік-корреляциялық және геостатистикалық талдаулар жүргізілді. Зерттеудің мақсаты – геологиялық нысандар мен олардың әртүрлі көрсеткіштері арасындағы геокеңістіктік байланыстарды анықтау. Геохимиялық деректер Пирсон корреляциясы мен k-орташа кластерлік талдау арқылы бағаланды. Нәтижесінде Be–Nb және Li–Cs элементтері арасында айқын сызықтық байланыс анықталды. Геофизикалық және геологиялық карталар IDW (Inverse Distance Weighted) әдісімен интерполяцияланып, геостатистикалық талдау жасалды.

Түйінді сөздер: Асубұлақ кен өрісі, сирек металдар, машиналық оқыту, кластерлеу, геоақпараттық жүйелер, басты компоненттер талдауы, геостатистикалық талдау.

Analysis of geological data of the Asubulak deposit by machine learning methods

Abstract. In this study, historical geological data of the Asubulak ore field within the Kalba-Naryn metallogenic belt (geological, geophysical, and geochemical maps) were digitized, and a dataset was created based on reference points. Spatial-correlation and geostatistical analyses were carried out using machine learning methods. The aim of the study was to identify geospatial relationships between geological objects and their various indicators. Geochemical data were evaluated using Pearson correlation and k-means cluster analysis. As a result, clear linear relationships were identified between Be–Nb and Li–Cs elements. Geophysical and geological maps were interpolated using the IDW (Inverse Distance Weighted) method, followed by geostatistical analysis.

Key words: geoinformation systems, remote sensing, rare metals, database, geological maps, geoportal.

Анализ геологических данных месторождения Асубулақ методами машинного обучения

Аннотация. В данном исследовании исторические геологические данные рудного поля Асубулақ Калба-Нарымского рудного пояса (геологические, геофизические и геохимические карты) были переведены в цифровой формат, а на основе опорных точек сформирован набор данных. С применением методов машинного обучения проведены пространственно-корреляционный и геостатистический анализы. Целью исследования являлось выявление геопространственных связей между геологическими объектами и их различными показателями. Геохимические данные оценивались с использованием корреляции Пирсона и кластерного анализа k-средних. В результате выявлены выраженные линейные связи между элементами Be–Nb и Li–Cs. Геофизические и геологические карты были интерполированы методом IDW (обратновзвешенных расстояний), после чего выполнен геостатистический анализ.

Ключевые слова: геоинформационные системы, дистанционное зондирование, редкие металлы, база данных, геологические карты, геоportal.

Кіріспе

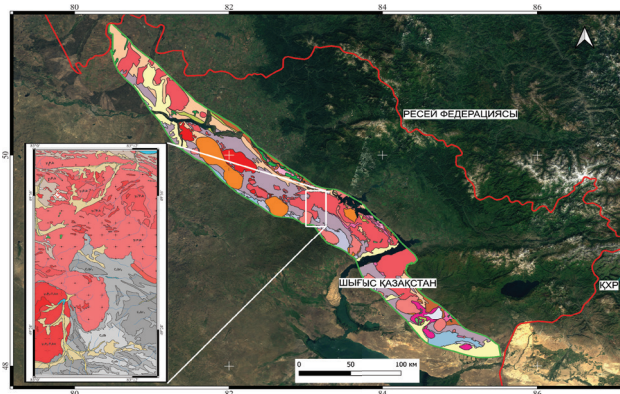
Геология және тау-кен ісі саласында машиналық оқыту және статистикалық өңдеу мысалдары жеткілікті. Мысалы, Zuo және Carranza [1] өз жұмыстарында кездейсоқ орман (random forest), конволюциялық нейрондық желі (convolutional neural network) пайдалы қазбаларды барлау мақсатында карталарды құруды көрсетеді. Регрессиялық талдау әдісін қолдана отырып, Chen және Wu [2] геологиялық, металлогениялық және статистикалық талдау негіздерінде полиметалл кен орындарының перспективалық картасын жасады.

Машиналық оқытудың көптеген әдістерінің бірі және осы ғылыми мақалада қолданылған әдіс – кластерлеу. Деректерді кластерлеу – атрибутивті мәліметтері ұқсас нүктелерді, бақылаусыз оқыту негізінде, топтау әдісі [3]. Аталған әдіс геологиялық мәліметтерді өңдеуде кең таралған: геохимиялық мәліметтердің литологиялық вариация мен гидротермальді өзгерулермен байланысын анықтау [4]; геологиялық ауыспалылар негізінде кен орындарының ұқсастықтарын табу [5]; геологиялық, геофизикалық және геохимиялық мағлұматтар арқылы мыс кен орындарының карталарын жасау [6].

Осы ғылыми мақала барысында машиналық оқыту, оның ішінде кластерлеу және геостатистика әдістері негізінде векторизацияланған тарихи геологиялық, геохимиялық және геофизикалық (гравиметриялық және магниттік) карталардан алынған мәліметтер өңделінді. Зерттеу аймағы ретінде Қалба-Нарын кен белдеуінің ішіне кіретін сирек металды Асубұлақ кен өрісі алынды.

Бастапқы мәліметтер және зерттеу әдістері

Зерттеу аймағы. Зерттеу аймағы ретінде Шығыс Қазақстан облысы территориясында орналасқан Қалба-Нарын кен белдеуінің ортаңғы бөлігі ретінде саналатын, Асубұлақ кен өрісі қабылданды. Қалба-Нарын кен белдеуі Кенді Алтаймен, Жарма-Сауыр және Батыс-Қалба кен аймақтарымен бірге Үлкен Алтайдың құрамына кіреді [7]. Аталған белдеу солтүстік-батыс бағытында Қытайдан бастап Ресейге дейін 500 км созылып жатыр (сурет 1).



Сурет 1. Қалба-Нарын кен белдеуі және оның құрамдас бөлігі Асубұлақ кен өрісі.

Figure 1. Kalba-Naryn ore belt and its component Asubulak ore field.

Рис. 1. Калба-Нарымский рудный пояс и его составляющая месторождение Асубулақ.

Асубұлақ кен өрісі, кейде Асубұлақ пегматит өрісі, кен белдеуінің орталық бөлігінде орналасқан. Пегматит өрісі 3 жарылудың қиылысында орналасқан және Пермь периодының Қалба комплексінің граниттік интрузиясынан тұрады. Аталған кен аймағы сирек кездесетін металл аймағы ретінде сипатталады (*Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn*).

Бастапқы мәліметтер. Бастапқы мәліметтер ретінде зерттеу аймағының тарихи (мұрағаттық) карталары алынды: геологиялық, гравиметриялық (аномальды магнит өрісі), гравиметриялық (қалдық Δg ауытқулар) және геохимиялық (екінші шашырау ореолы) карталары. Карталар М-45-95 А және В беттерін қамтитын 1: 50 000 масштабтарында құрылған.

Зерттеу барысында «Тұрақты нүктелер» атты функциясы арқылы кездейсоқ түрде нүктелер салынды. Нүктелердің саны 1100 – 1 км² ауданға 1 нүкте сәйкес келеді. Кездейсоқ нүктелер *shp* форматында құрылып, олардың геологиялық карталарға сәйкес келген жеріндегі мәні атрибутивтік кестеге жазылды.

Корреляциялық талдау. Геохимиялық мәліметтерге, яғни сирек металдардың екінші шашырау ореолдарына (өлшем бірліктері – сынамадағы мөлшер*10⁻³%) іргетасты статистикалық әдіс – Пирсон корреляциясы жасалынды.

Геостатистикалық талдау. Түрлі деректердің (бағаналардың) өзара байланысын кеңістіктік қатынаста анықтау үшін және көруге ыңғайлы түрде көрсету үшін геостатистикалық талдау жасалады. Талдау барысында магниттік карта мен гравиметриялық карталар және геологиялық карта мен гравиметриялық карта сынарларына қолданылды.

Кластерлеу. *Басты компоненттерді талдау.* Басты компоненттер талдауы (БКТ) кластерлеудің дәстүрлі және кең тараған түрлерінің бірі болып келеді. БКТ – көпөлшемді деректерді өлшемін азайту үшін қолданылатын статистикалық әдіс [8]. БКТ-ға сирек металдардың екінші шашырау ореолдары қатысады.

Кластерлеу. k-орташа әдісі. k-орташа (k-means) – деректерді k топқа (кластерге) бөлетін кең таралған кластерлеу алгоритмі [9]. Аталған әдіс БКТ нәтижелерінің деректер топтамасына қолданылды.

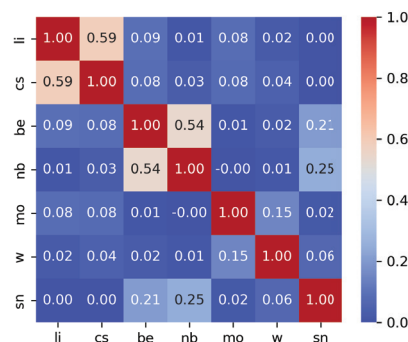
Нәтижелер

Асубұлақ пегматит алаңындағы сирек металдардың шашырау деректеріне қатысты корреляциялық талдау жасалды. Корреляциялық матрица сурет 2 көрсетілген.

Талдау нәтижелері бойынша сирек металдардың екінші шашырауы бойынша сызықтық байланыс деңгейі жоғары дәрежеде емес екенін көруге болады. Айтарлықтай, орташадан жоғары сызықтық байланысты *Be* және *Nb* арасында көруге болады (Пирсон коэффициенті – 0,54), сонымен қатар *Li* мен *Cs* арасындағы корреляция, салыстырмалы түрде, жоғары (0,59).

IDW әдісі бойынша гравиметриялық және магниттік аномалиялардың көрсеткіштері, сонымен қатар геологиялық карта араларындағы кеңістіктік байланыстар құрылды (сурет 3). Қалдық Δg ауытқулардың қарқындылығы мен аномальды магнит өрісінің қарқындылығы арасындағы интерполяция нәтижелерін салыстыру барысында ұқсастық және байланыс бар екені көзге түседі. Сонымен қатар, гравиметриялық карта мен тау жыныс-

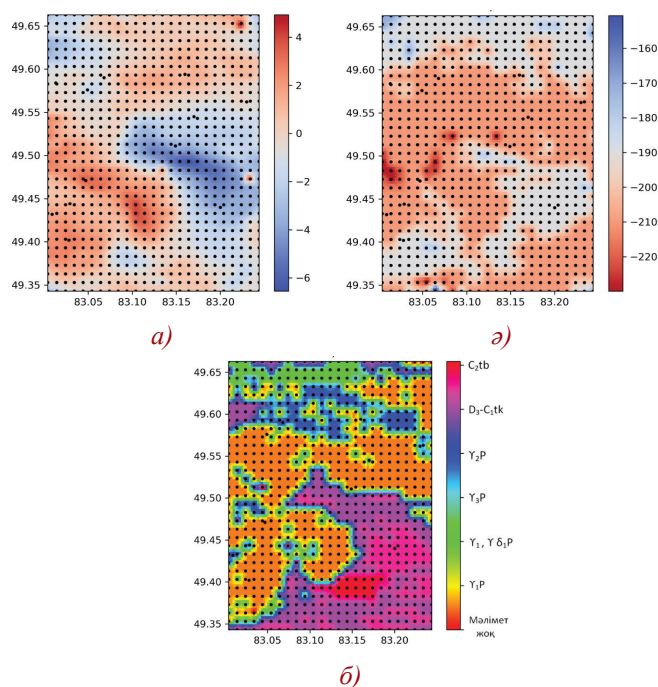
тарының түрлері арасындағы байланысты көруге болады (сурет 3 а, ә, б).



Сурет 2. Сирек металдардың корреляциялық матрицасы.

Figure 2. Correlation matrix of rare metals.

Рис. 2. Корреляционная матрица редких металлов.



Сурет 3. Геостатикалық талдау нәтижелері: а) қалдық Δg ауытқулардың қарқындылығы, мГл; ә) аномальды магнит өрісінің қарқындылығы $\Delta T_a, \Delta Z, nT$; б) тау жыныстары.

Координаттар жүйесі – WGS-84/ UTM 44N.

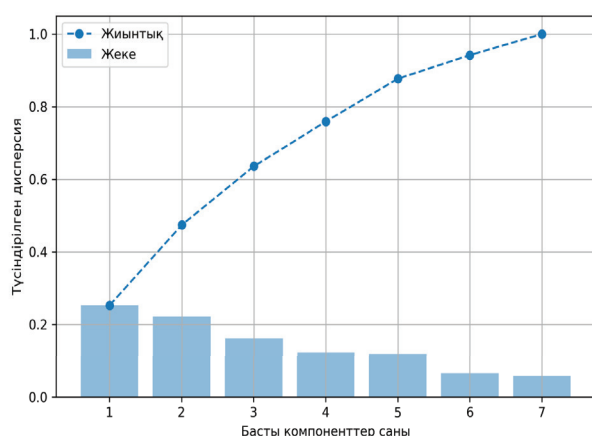
Figure 3. Geostatic analysis results: a) the intensity of fluctuations in residual Δg , mgal; ә) the intensity of the anomalous magnetic field $\Delta T_a, \Delta Z, nT$; б) rocks. Coordinate system – WGS-84/ UTM 44N.

Рис. 3. Результаты геостатического анализа: а) остаточная Δg интенсивность колебаний, мГл; ә) интенсивность аномального магнитного поля $\Delta T_a, \Delta Z, nT$; б) горные породы. Система координат – WGS-84/ UTM 44N.

Тау жыныстарының түрлерін «тұрақты нүктелер» бойынша құрылған картограммаға (сурет 4 б) түсініктеме беретін болса: мәлімет жоқ – көлдер, су қоймалары; γ_P – Қалба

кешенінің 1 фаза граниттері; γ_1 , $\gamma_{\delta 1}P$ – Қалба кешенінің 1 фаза гранодиориттері мен меланократты граниттері; γ_2P – Қалба кешенінің 2 фазаның биотитті граниттері; γ_3P – Қалба кешенінің 3 фазасының пегматизацияланған лейкократ граниттері; D_3-C_{1tk} – Тақыр тастопшасының алевролиттері мен құмдақтары; C_{2tb} – Тауба тастопшасының әктасты құмдақтар конкрециясы бар түйіршікті құмдақтар.

Құрылған деректер жиынтығы бойынша сирек металдардың кеңістіктік таралуын топтастыру мақсатында k-means кластерлік талдауы қолданылды. Кластерлеу алдында деректер құрылымын оңтайландыру және айнымалылар арасындағы өзара байланысты азайту үшін басты компоненттерді талдау жүргізілді. БКТ нәтижесінде компоненттер саны, түсіндірілетін дисперсия үлесі (сурет 4) және айнымалылардың жүктеулері (кесте 1) анықталып, кластерлік талдауға ең маңызды белгілер іріктелді.



Сурет 4. Басты компоненттер талдауының түсіндірілген дисперсиясы.

Figure 4. Explained variance of the principal component analysis.

Рис. 4. Объясненная дисперсия анализа главных компонент.

Түсіндірілген дисперсия графигі сурет 4-те көрсетілген: бағандар – әрбір жеке компоненттің үлесі; қисық сызық (кумулятивті үлес) – компоненттердің жиынтық үлесін көрсетеді. Компоненттер санын анықтауда, әдетте, 75–90% түсіндірілген дисперсияны қамтамасыз ететін басты компоненттер (БК) санын қабылдайды. Нақты осы жағдайда төрт басты компонент 75–77% дисперсияны түсіндіреді, яғни келесі есептеулер үшін алғашқы төрт басты компонент қолданылатын болады.

Келесі кезекте әр БК-ке әр жеке айнымалылардың (бағандардың) қосатын үлестері және олардың таңбалары анықталады. Егер таңба «+» болса және бағанның мәні басқаларынан салыстырмалы түрде жоғары болса, онда сол баған БК-ке көп үлес қосады, ал егер «-» болса, онда сәйкесінше теріс үлес қосады (кесте 1).

Кесте 1 әр бағанның (металдың) компоненттерге түсірегін үлесін көрсетеді. Бірінші БК-те ең көп үлесті оң таңбамен бериллий (0,54) және ниобий (0,51) қосады, сәйкесінше, БК осінің жоғары бөлігінде осы металдарға бай нүктелер орналасатын болады. Екінші БК-те *Be* (-0,32) және *Nb* (-0,40) теріс үлес қосады, ал *Li* (0,56) мен *Cs*

(0,56) оң таңбамен жүктейді, яғни компонент осі бойынша жоғарылаған сайын литий мен цезий шамасы көп нүктелер орналасады, ал төменгі бөлігінде бериллий мен ниобий шамасы көп нүктелер жайғасады. Үшінші компонент вольфрам (0,71) мен молибден (0,65) еншісінде, ал БК-4 теріс таңбамен қалайы (-0,58) мен вольфрам (-0,42) және оң таңбамен молибден (0,61) үлес қосады.

Кесте 1

Компоненттердің жүктеуі

Table 1

Component loading

Таблица 1

Загрузка компонентом

	БК-1	БК-2	БК-3	БК-4	БК-5	БК-6	БК-7
<i>Be</i>	0,54	-0,32	-0,09	0,24	-0,24	-0,66	-0,20
<i>Nb</i>	0,51	-0,40	-0,07	0,19	-0,16	0,68	0,21
<i>Sn</i>	0,32	-0,28	0,14	-0,58	0,67	-0,06	-0,03
<i>W</i>	0,11	0,05	0,71	-0,42	-0,54	0,01	0,04
<i>Mo</i>	0,12	0,16	0,65	0,61	0,41	0,01	-0,02
<i>Li</i>	0,39	0,56	-0,15	-0,07	0,03	-0,17	0,68
<i>Cs</i>	0,41	0,56	-0,14	-0,09	-0,01	0,24	-0,66

Келесі кезекте БКТ нәтижесінде алынған жаңа деректер жиынтығына k-орташа әдісі бойынша кластерлік талдау жүргізілді. k-орташа алгоритмін қолданғанда кластер саны (k) алдын-ала белгісіз болады, сол үшін Elbow Method және Silhouette (Силуэт) әдістері k-ның оңтайлы мәнін табу үшін қолданылады. Elbow Method (Шынтақ әдісі) – әдіс кластерлер санын анықтау үшін k-орташаның кластер ішіндегі дисперсиясын (inertia) талдайды, ал Silhouette коэффициенті кластерлердің сапасын бағалайды. Ол әрбір нүктенің кластер ішіндегі тығыздығы мен басқа кластерлерден алшақтығын өлшейді [10].

Шынтақ әдісі бойынша кластер ішіндегі квадраттардың қосындылары (WSFC) кластердің саны 3-ке келгенде құлдырайды. Силуэт талдауы бойынша силуэт ұпайы 9 кластерде максималды мәнге жетеді, бірақ алғашқы 4 компонент жеткілікті дисперсия көрсететіндіктен (77%), 3 кластер алынады. Алғашқы 4 компонент ішінде силуэт ұпайы 3-ші кластерде ең көп мәнге ие. Демек екі әдісті қолдана отырып, алдын-ала кластерлер саны анықталды. Ол 3-ке тең деп қабылданды.

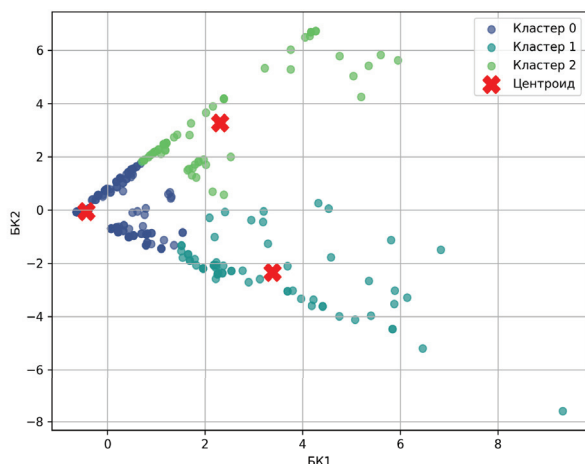
Кластерлер саны анықталғаннан кейін (3), k-орташа әдісі БКТ дерекқорына қолданылды. Әдіс берілген кластерлер санына сәйкес, нүктелерді басты компоненттер координаттар жүйесінде орнатты (сурет 5).

Сурет 5 элементтеріне түсіндірме: кластерлер – түрлі түстерде көрсетілген, сипаттамалары бір-біріне жақын нүктелердің топтары; центроид – кластердің орталығы. Басты компоненттердің өстерінің шамалары нақты жергілікті жердегі, физикалық мағынаға ие емес шама, олар компоненттер талдауы алдында құрылған, масштабтау функциясының мәндері.

Нәтижелерді талқылау

Корреляциялық талдау нәтижесінде кейбір элементтер арасында байланыс анықтауға болады. *Be* мен *Nb* ара-

сындағы байланыс коэффициенті 0,54, ал *Li* мен *Cs* арасындағы корреляция коэффициенті 0,59 тең. Корреляция коэффициентінің шамасы байланыс күштерін көрсетеді. Чеддок шкаласы бойынша 0,5–0,7 арасындағы шаманы «көрнекті» деп бағалайды. Басқа сирек металдардың сызықтық байланысы төмен болып келеді. Сонымен қатар, корреляциялық матрица теріс таңбалы байланыстарды да көрсетпеді (сурет 3).



Сурет 5. БКТ мәндерінің k-орташа әдісі бойынша кластерлеу нәтижелерінің БК-1 және БК-2 координаттар жүйесінде орналасуы.

Figure 5. The location of the clustering results according to the k-mean PCA method of PC-1 and PC-2 values in the coordinate system.

Рис. 5. Расположение результатов кластеризации по k-среднему методу АК значений ГК-1 и ГК-2 в системе координат.

Алынған нәтижелердің статистикалық сенімділігін бағалау мақсатында корреляция коэффициенттерінің мәнділік матрицасы қосымша есептелді. Нәтижесінде *Be–Nb* және *Li–Cs* элементтері арасындағы байланыстардың *r*-мәндері 0,01-ден төмен екені анықталды, яғни бұл корреляциялар кездейсоқ емес және статистикалық тұрғыдан мәнді болып табылады. Осылайша, анықталған оң байланыстар тек коэффициент шамасымен ғана емес, олардың статистикалық сенімділігімен де расталды (сурет 6).

Геостатистикалық талдау нәтижесінде геофизикалық карталардың өзара және геологиялық картамен байланыстары анықталды. Гравиметриялық көрсеткіштер магниттік көрсеткіштермен тура пропорционалды байланысты көрсетеді. Гравиметриялық ауытқудың мәндері неғұрлым жоғары болса соғұрлым магнит өрісінің қарқындылығы өседі. Оны, карталардың ортаңғы бөлігіндегі Белогор интрузивті массиві (қою қызыл түспен) және Тақыр тастопшасының шөгінді жыныстары (ашық түс), арасында байқауға болады (сурет 3, а, ә).

Гравиметриялық ауытқуды тау жыныстарының түрлерімен байланыс сурет 3, а, б көрсетілген. Қалдық Δg ауытқулардың қарқындылығы төмен және теріс мәндерде шөгінді жыныстарға сай келеді: $C_{\text{тб}} - 2$ мгл көрсетеді, ал $D_3 - C_{\text{тк}} - 6$ мгл шамасына дейін түседі. Керісінше, интрузивті тау жыныста-

ры оң таңбамен болып келеді, әсіресе $\gamma P + 4$ мгл шамасынан да жоғары мәндерге ие.

	li	cs	be	nb	mo	w	sn
li	-	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$
cs	$p < 0.01$	-	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$
be	$p < 0.01$	$p < 0.05$	-	$p < 0.01$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.01$
nb	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.01$	-	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.01$
mo	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	-	$p < 0.01$	$p > 0.05$
w	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.01$	-	$p > 0.05$
sn	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	-

Сурет 6. Статистикалық мәнділік матрицасы.

Figure 6. Statistical significance matrix.

Рис. 6. Матрица статистической значимости.

БКТ нәтижелеріне *k*-орташа әдісі бойынша, сирек металдардың геохимиялық көрсеткіштеріне кластеризация жасалды. Кластеризация нәтижелерін сурет 5 көруге болады. Суретте кластер 0 БК-2 өсі бойынша ортаңғы бөлікте, БК-1 өсі бойынша төмен мәндерге ие болды. Кластер 1 БК-1 өсі бойынша созылыңқы орналасқан, ал БК-2 бойынша төмен мәндерде. Қалыптасқан 3 кластердің орташа мәндерін 2-ші кестеде көруге болады (мәндердің өлшем бірлігі – сынамадағы мөлшер $\cdot 10^{-3}\%$).

Кластер (топ) 0 – барлық элементтердің (сирек металдардың) мәндері төмен және аралас нүктелер тобы. Кластер 1-де *Be* (орта мәні 0,91) және *Nb* (орта мәні 1,08) элементтері шоғырланған нүктелер. Бұл кластерде *Sn* (0,74) мен *Li* (1,41) ескеруге болар еді, бірақ олардың максималды мәндері 5 және 25 сәйкесінше. Демек бұл топта (кластер 1) *Be* мен *Nb* жоғары мәндері, ал *Sn* мен *Li* төмен мәндері орналасқан. Соңғы кластерді (кластер 2) *Li* мен *Cs* тобы деп, шартты түрде атауға болады. Осылайша, *k*-орташа әдісі сирек металдарды, екінші шашырау ореолдарындағы сынамадағы мөлшерлеріне байланысты, 3 топқа бөлді: 1) төмен мәндердегі аралас; 2) жоғары мәндердегі *Be–Nb*; 3) жоғары мәндердегі *Li–Cs*.

Кесте 2

Кластерлердің орташа мәндері

Таблица 2

Средние значения кластеров

Table 2

Average values of clusters

Кластер	<i>Be</i>	<i>Nb</i>	<i>Sn</i>	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>Li</i>	<i>Cs</i>
0	0,01	0,01	0,11	0,03	0,01	0,29	0,06
1	0,91	1,08	0,74	0,07	0,01	1,41	0,21
2	0,07	0,04	0,21	0,14	0,08	11,38	2,79

Қорытынды

Асуұлақ кен өрісінің картографиялық мәліметтеріне машиналық оқыту негізінде статистикалық талдаулар жасалды. Датасетке корреляциялық талдау жасау нәтижесінде **Be** мен **Nb** және **Li** мен **Cs** араларында өзара көрнекті сызықтық байланыс бар екендігі анықталды. Геоистатистикалық талдау нәтижесінде, қалдық Δg ауытқулардың қарқындылығы мен аномальды магнит өрісінің қарқындылығы арасында әлсіз байланыс орнатылды. Сонымен қатар, геологиялық тау жыныстарының гравиметриялық көрсеткіштері анықталды. Қалба кешенінің бірінші фаза граниттерінің гравиметриялық ауытқу мәні ең жоғары, ал Тақыр тастопшасының шөгінді жыныстары ең төменгі бо-

лып келеді. Кластерлеу әдісі геохимиялық картаға жасалды. Талдау нәтижесінде элементтер (металдар) 3 топқа бөлінді: аралас, **Be-Nb** және **Li-Cs** жұптарының жоғары мәндері. Осы тақырыпты келесі зерттеулерде машиналық оқытудың басқа да әдіс-тәсілдері негізінде дамытуға болады.

Алғыс

Зерттеу 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. Zuo R., Carranza E. J. M. Пайдалы қазбаларды барлауға арналған машиналық оқытуға негізделген картаға түсіру // *Mathematical Geosciences*. – 2023. – Т. 55. – № 7. – Б. 891–895 (ағылшын тілінде)
2. Chen Y., Wu W. Экстремалды оқыту машинасының регрессиясын пайдалана отырып пайдалы қазбалардың перспективтілігін картаға түсіру // *Ore Geology Reviews*. – 2017. – Т. 80. – Б. 200–213 (ағылшын тілде)
3. Singh H. V., Girdhar A., Dahiya S. DBSCAN алгоритмдеріне негізделген әдебиеттерге шолу // Интеллектуалды есептеу жүйелері мен басқару жүйелері бойынша 6-шы халықаралық конференция материалдары (ICICCS). – Мадурай, Үндістан: IEEE, 2022. – Б. 751–758 (ағылшын тілінде)
4. Негізгі компоненттерді талдау мен кластерлік талдауды пайдалы қазбаларды барлау мен кен геологиясында қолдану / M. F. Gazley [және т. б.] // *AusIMM Жаңа Зеландия бөлімшесінің жыл сайынғы конференциясының материалдары*. – Дунедин, Жаңа Зеландия, 2015. – Б. 131–139 (ағылшын тілінде)
5. Collyer P. L., Merriam D. F. Пайдалы қазбаларды барлау кезінде кластерлік талдауды қолдану // *Journal of the International Association for Mathematical Geology*. – 1973. – Т. 5. – № 3. – Б. 213–223 (ағылшын тілінде)
6. Abedi M., Norouzi G. H., Torabi S. A. Мыс кен орындарын барлауда бақыланбайтын жіктеу тәсілі ретінде пайдалы қазбалардың перспективтілік аймақтарын кластерлеу // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2013. – Т. 6. – № 10. – Б. 3601–3613 (ағылшын тілінде)
7. Шығыс Қазақстанның тектоникасы және металлогениясы / B. Dyachkov [және т. б.] // *Tectonics – Problems of Regional Settings*. – Лондон: IntechOpen, 2018. – 5-тапқы. – Б. 69–102 (ағылшын тілінде)
8. Негізгі компоненттерді талдау / M. Greenacre [және т. б.] // *Nature Reviews Methods Primers*. – 2022. – Т. 2. – № 1. – 100 (ағылшын тілінде)
9. Shobha N., Asha T. Метеорологиялық деректерге негізделген ауа райын мониторингілеу: талдаудың кластерлік тәсілі // Өнеркәсіптік қолданбаларға арналған инновациялық механизмдер бойынша халықаралық конференция материалдары (ICIMIA). – Бангалор, Үндістан: IEEE, 2017. – Б. 75–81 (ағылшын тілінде)
10. Әр түрлі түсті модельдердегі кескіндер бойынша оңтайлы k-орташа кластерлеуді анықтауға арналған силуэт индексі / A. R. Mamat [және т. б.] // *International Journal of Engineering and Technology*. – 2018. – Т. 7. – № 2.14. – Б. 105–109 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Zuo R., Carranza E. J. M. Machine Learning-Based Mapping for Mineral Exploration // *Math. Geosci.* – 2023. – Vol. 55. – No. 7. – P. 891–895 (in English)
2. Chen Y., Wu W. Mapping Mineral Prospectivity Using an Extreme Learning Machine Regression // *Ore Geol. Rev.* – 2017. – Vol. 80. – P. 200–213 (in English)
3. Singh H. V., Girdhar A., Dahiya S. A Literature Survey Based on DBSCAN Algorithms // 2022 6th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). – Madurai, India: IEEE, 2022. – P. 751–758 (in English)
4. Application of principal component analysis and cluster analysis to mineral exploration and mine geology / M. F. Gazley et al. // *Proceedings of the AusIMM New Zealand Branch Annual Conference*. – Dunedin, New Zealand, 2015. – P. 131–139 (in English)
5. Collyer P. L., Merriam D. F. An application of cluster analysis in mineral exploration // *Journal of the International Association for Mathematical Geology*. – 1973. – No. 5. – P. 213–223 (in English)
6. Clustering of Mineral Prospectivity Area as an Unsupervised Classification Approach to Explore Copper Deposit / M. Abedi et al. // *Arab. J. Geosci.* – 2013. – Vol. 6. – No. 10. – P. 3601–3613 (in English)
7. Tectonics and Metallogeny of East Kazakhstan / Dyachkov B. et al. // *Tectonics – Problems of Regional Settings*. – London: IntechOpen, 2018. – Ch. 5. – P. 69–102 (in English)
8. Principal Component Analysis / M. Greenacre et al. // *Nat. Rev. Methods Primers*. – 2022. – Vol. 2. – No. 1. – Article 100 (in English)

9. Shobha N., Asha T. Monitoring Weather Based Meteorological Data: Clustering Approach for Analysis // *Proceedings of the 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*. – Bengaluru, India: IEEE, 2017. – P. 75–81 (in English)
10. Silhouette index for determining optimal k-means clustering on images in different color models / A. R. Mamat et al. // *International Journal of Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 7. – No. 2.14. – P. 105–109 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zuo R., Carranza E. J. M. Картографирование месторождений полезных ископаемых на основе машинного обучения // *Mathematical Geosciences*. – 2023. – Т. 55. – № 7. – С. 891–895 (на английском языке)
2. Chen Y., Wu W. Составление карт перспективности полезных ископаемых с использованием метода регрессии экстремального обучения // *Ore Geology Reviews*. – 2017. – Т. 80. – С. 200–213 (на английском языке)
3. Singh H. V., Girdhar A., Dahiya S. Обзор литературы по алгоритмам DBSCAN // *Труды 6-й Международной конференции по интеллектуальным вычислительным системам и системам управления (ICICCS)*. – Маурай, Индия: IEEE, 2022. – С. 751–758 (на английском языке)
4. Применение анализа главных компонент и кластерного анализа к разведке полезных ископаемых и горной геологии / M. F. Gazley [и др.] // *Труды ежегодной конференции Новозеландского отделения Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM)*. – Данидин, Новая Зеландия, 2015. – С. 131–139 (на английском языке)
5. Collyer P. L., Merriam D. F. Пайдалы қазбаларды барлауда кластерлік талдауды қолдану // *Journal of the International Association for Mathematical Geology*. – 1973. – № 5. – С. 213–223 (ағылшын тілінде)
6. Abedi M., Norouzi G. H., Torabi S. A. Кластеризация районов перспективности полезных ископаемых как неконтролируемый классификационный подход к разведке медных месторождений // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2013. – Т. 6. – № 10. – С. 3601–3613 (на английском языке)
7. Тектоника и металлогения Восточного Казахстана / B. Dyachkov [и др.] // *Tectonics – Problems of Regional Settings*. – Лондон: IntechOpen, 2018. – Гл. 5. – С. 73–102 (на английском языке)
8. Анализ главных компонент / M. Greenacre [и др.] // *Nature Reviews Methods Primers*. – 2022. – Т. 2. – Ст. 100 (на английском языке).
9. Shobha N., Asha T. Мониторинг метеорологических данных о погоде: кластерный подход к анализу // *Труды Международной конференции по инновационным механизмам промышленного применения (ICIMIA)*. – Бангалор, Индия: IEEE, 2017. – С. 75–81 (на английском языке)
10. Индекс силуэта для определения оптимальной кластеризации k-средних по изображениям в различных цветовых моделях / A. R. Mamat [и др.] // *International Journal of Engineering and Technology*. – 2018. – Т. 7. – № 2.14. – С. 105–109 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Бекишев Е. Т., докторант, 8D07201 – Геология және пайдалы қазба кен орнын барлау білім беру бағдарламасы бойынша докторант, Жер туралы ғылымдар мектебі (Өскемен қ., Қазақстан), YBekishev@edu.ektu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6608-193X>

Рахымбердина М. Е., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, Жер туралы ғылымдар мектебінің деканы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), MRahymberdina@edu.ektu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-2196-6512>

Levin E., Ph.D докторы, Мехарри атындағы қолданбалы есептеу ғылымдары мектебі (Нэшвилл қ., АҚШ), elevin@mtu.edu; <https://orcid.org/0000-0002-8127-3208>

Капасов А. К., техника ғылымдар магистрі, Жер туралы ғылымдар мектебінің оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), AKapasov@edu.ektu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-7996-8804>

Information about the authors:

Bekishev Ye. T., doctoral student in the educational program 8D07201 – Geology and Exploration of Mineral Deposits at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Rakhymberdina M. Ye., Ph.D, Dean of School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Levin E., Ph.D, Professor of Meharry School of Applied Computational Sciences (Nashville, USA)

Kapasov A. K., Master of Technical Sciences, Lecturer, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Бекишев Е. Т., докторант по образовательной программе 8D07201 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых, Школа наук о Земле, ВКТУ им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Рахымбердина М. Е., доктор Ph.D, ассоциированный профессор, декан школы наук о Земле, ВКТУ им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Levin E., доктор PhD, профессор Школы прикладных вычислительных наук им. Мехарри (г. Нэшвилл, США)

Капасов А. К., магистр технических наук, преподаватель Школы наук о Земле, ВКТУ им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Масштабное событие горной отрасли в России

Рудник

официальная поддержка:



Минпромторг
России



Торгово-промышленная
палата Российской Федерации



Правительство
Свердловской области



НП «Горнопромышленники
России»

27–29 октября 2026
Екатеринбург

11-я международная выставка современных
технологий, оборудования и спецтехники
для горнодобывающей промышленности

принять участие



посетить



МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 204-03-17

mine.proexpo.ru

**pro
EXPO**

Код МРНТИ 36.29.27

D. S. Ozhigin, V. N. Dolgonosov, *V. F. Yartseva, K. R. Galiullina
Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

REMOTE SENSING OF INDUSTRIAL STOCKPILES UNDER SNOW COVER: METHODS AND SCIENTIFIC CHALLENGES

Abstract. Determining the volumes of stockpiled materials at industrial sites during the winter period is complicated by the presence of snow cover, which distorts surface geometry and reduces calculation accuracy. The aim of the study is to evaluate the effectiveness of remote sensing methods for mine surveying and geodetic support. The research is based on the analysis and comparison of laser scanning, satellite, radar, ground-penetrating radar, and photogrammetric methods. It is established that the integration of UAV-based photogrammetry and GNSS provides the highest efficiency. The scientific novelty lies in assessing the impact of snow cover on digital model accuracy and substantiating an integrated approach to their application.

Key words: remote sensing, digital surface model, mine surveying and geodetic measurements, snow cover, industrial stockpiles, volume calculations.

Қар жамылғысы жағдайында өнеркәсіптік қоймалар бетінің қашықтықтан зондталуы: әдістерге шолу және ғылыми мәселелер

Аннотация. Өнеркәсіптік қоймаларда сақталатын материалдардың көлемдерін анықтау қысқы кезеңде қар жамылғысының болуына байланысты күрделене түседі, себебі ол беттердің геометриясын бұрмалап, есептеулердің дәлдігін төмендетеді. Зерттеудің мақсаты - маркшейдерлік-геодезиялық қамтамасыз ету үшін қашықтықтан зондтау әдістерінің тиімділігін бағалау. Лазерлік сканерлеу, спутниктік, радиолокациялық, георадарлық және фотограмметриялық әдістер бойынша деректерді талдау және салыстыру қолданылды. Ең жоғары тиімділікті БПЛА-фотограмметриясы мен ГНСС интеграциясы қамтамасыз ететіні анықталды. Ғылыми жаңалығы қар жамылғысының цифрлық модельдердің дәлдігіне әсерін бағалауда және оларды қолданудың кешенді тәсілін негіздеуде жатыр. Қар қабаты өлшеу нәтижелерінің дәлдігіне әсер ететіні анықталды.

Түйінді сөздер: қашықтықтан зондтау, беттік цифрлық модель, маркшейдерлік-геодезиялық өлшеулер, қар жамылғысы, техногендік объектілер, көлем-дерді есептеу.

Дистанционное зондирование поверхности промышленных складов в условиях снежного покрова: обзор методов и научных проблем

Аннотация. Определение объемов складываемых материалов на промышленных складах в зимний период осложняется наличием снежного покрова, искажающего геометрию поверхностей и снижающего точность расчетов. Цель исследования – оценка эффективности методов дистанционного зондирования для маркшейдерско-геодезического обеспечения. Применены анализ и сопоставление данных по лазерному сканированию, спутниковым, радиолокационным, георадарным и фотограмметрическим методам. Установлено, что наибольшую эффективность обеспечивает интеграция БПЛА-фотограмметрии и ГНСС. Научная новизна заключается в оценке влияния снежного покрова на точность цифровых моделей и обосновании комплексного подхода к их применению.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, цифровая модель поверхности, маркшейдерско-геодезические измерения, снежный покров, техногенные объекты, расчеты объемов.

Introduction

Determining the volume of stockpiled materials is an important task in mine surveying and geodetic support for mining and industrial enterprises. The reliability of volume calculations affects inventory accounting, production planning, and economic assessment. In open storage areas, this task is complicated by the complex geometry of stockpiles, steep slopes, sharp elevation differences, and continuous changes in the shape of the stored material.

In winter, volume determination becomes less accurate because snow cover partially or completely conceals the actual material surface. As a result, the digital surface model obtained from survey data may represent the snow surface rather than the real geometry of the stockpiled material. This leads to the inclusion of snow mass in the calculated volume and causes systematic errors.

Traditional ground-based methods, including total station surveying, geometric leveling, and GNSS measurements, provide high accuracy for individual points. However, their use in winter is limited by labor intensity, safety requirements, and the difficulty of covering the entire surface. Therefore, remote sensing methods, including UAV photogrammetry, laser scanning, satellite imagery, and radar technologies, are increasingly used. Nevertheless, most of these methods record the upper visible or reflecting surface, which often corresponds to snow cover rather than the stockpiled material.

Most existing studies on snow cover remote sensing focus on natural landscapes, mountainous areas, snow depth, or snow water equivalent. Industrial stockpiles differ significant-

ly due to their artificial and rapidly changing geometry, shaded zones, low textural informativeness of snow, and continuous material movement. Therefore, direct application of existing approaches to winter mine-surveying volume accounting remains limited.

The scientific problem of this study is the lack of an adapted approach for assessing the applicability of remote sensing and geodetic methods to reliable volume determination under snow-covered conditions. The purpose of this article is to analyze existing methods for surveying snow-covered surfaces, identify their limitations for industrial stockpiles, and substantiate directions for developing an adaptive methodology for determining stockpiled material volumes in winter.

Characteristics of snow cover and its influence on the accuracy of volume determination of stockpiled materials

Snow cover exhibits complex physical, structural, and optical properties that significantly complicate remote sensing and distort digital surface models of stockpiled materials. Its structure is formed under the combined influence of multiple factors, including atmospheric conditions, solar radiation, heat fluxes, wind loading, settling, and internal metamorphic processes [1, 2].

One of the key factors affecting the accuracy of mine surveying and geodetic measurements during the winter period is the optical properties of the snow cover. The absence of stable surface texture significantly limits the capabilities of photogrammetric modeling [3, 4]. Structure-from-Motion algorithms rely on detecting and matching image key points

to establish correspondences between images. However, in snow-covered areas, the number of such features is often insufficient, especially when surveys are conducted under bright solar illumination. This results in sparse point clouds, increased matching errors, and local distortions in the digital surface model that do not correspond to the actual geometry of the stockpiled material [4].

Illumination conditions significantly impact modeling results. The reduced solar elevation during the winter period leads to the formation of elongated shadows, in which up to 60–70% of key points may be lost [4, 5]. At the same time, illuminated areas are often characterized by overexposure and a lack of contrast features. The sharp contrast between shadowed and overexposed zones generates false brightness gradients that processing algorithms interpret as terrain elements, resulting in additional distortions of the digital surface model and a decrease in the accuracy of volume determination [5, 6].

The heterogeneity of the snow cover is particularly pronounced at industrial stockpiles, where the interaction of wind flows with the artificial relief of stockpiles leads to the formation of scoured zones, local snow accumulations, cornices, and erosional depressions. These elements do not correspond to the actual geometry of the stockpiled materials and form false relief features [6, 7], resulting in local anomalies in the digital surface model and complicating the accuracy of volume calculations.

Additional complexity is introduced by metamorphic processes in snow cover, driven by changes in the structure of snow crystals under the influence of temperature fluctuations, pressure, and moisture. As shown by previous studies [7, 8], even the presence of a thin ice layer or crust significantly reduces image textural information, complicates photogrammetric processing, and adversely affects the accuracy of digital surface models. Moreover, surface models obtained at different times may differ substantially even with a short time interval between surveys, which increases uncertainty when comparing snow-on and snow-off data and complicates the assessment of actual changes in material volumes.

Thus, snow cover is one of the main factors distorting the surface geometry of industrial stockpiles and reducing the accuracy of volume determination for stockpiled materials. Its high variability, low textural expression, and sensitivity to external conditions necessitate the application of specialized methodological approaches to account for and compensate for the influence of snow cover when performing mine surveying and geodetic works during the winter period.

Remote sensing methods for snow-covered surfaces

Contemporary approaches to remote sensing of snow-covered terrain encompass diverse technologies designed to capture spatial information with different degrees of precision, resolution, and operational effectiveness. Their development is driven by the need to improve the accuracy and safety of mine surveying operations under conditions where ground-based methods are limited. During the winter period, this is associated with restricted site accessibility, hazards related to movement across snow-covered stockpile areas, and high surface variability, all of which significantly reduce the reliability of results in determining the volumes of stockpiled materials.

In the scientific literature, several key remote sensing approaches are distinguished for snow cover analysis, including laser scanning, satellite imagery, radar-based methods, ground-penetrating radar technologies, and photogrammetric approaches implemented using unmanned aerial vehicles. Each of these methods has specific advantages and limitations that must be considered when modeling the surface of technogenic objects under snow-covered conditions [1, 2].

Laser scanning (LiDAR) ranks among the leading remote sensing technologies due to its high accuracy, independence from illumination conditions, and ability to generate dense point clouds. Research results indicate that terrestrial laser scanning (TLS) enables detection of changes in snow cover height with an accuracy of up to several millimeters [3], making this method a reference standard for assessing the accuracy of other technologies. However, its application at industrial stockpiles is significantly limited: the considerable height of stockpiles, the presence of technological equipment, and continuous production activity hinder the placement of scanners in optimal positions and the acquisition of complete surface coverage. In addition, conducting surveys during the winter period increases risks to personnel and extends survey duration.

Airborne laser scanning (ALS) enables data acquisition over large areas; however, its application to industrial stockpiles is constrained by difficulties in capturing steep slopes and small-scale relief elements, variability in the geometry of stockpiled materials, and challenges in data interpretation under snow cover [4].

Satellite sensing methods provide regular observations and coverage of large areas, which makes them effective for analyzing snow cover dynamics at a regional scale. Modern satellite platforms enable the assessment of snow cover extent, melt boundaries, and snow water equivalent (SWE) parameters [5]. At the same time, the spatial resolution of even high-resolution satellite imagery typically ranges from several tens of centimeters to meters, which does not meet the requirements of mine surveying support, where an accuracy of 1–3 cm is required. For this reason, satellite imagery should be considered only an auxiliary source of information that complements data from ground-based and aerial survey methods. Additional limitations include cloud cover, insufficient illumination, and atmospheric distortions, which significantly reduce data availability during the winter period.

Radar-based methods, including SAR imaging, exhibit high sensitivity to the physical parameters of snow cover, particularly moisture content and density. The interpretation of radar data is complicated by the dependence of snow backscattering characteristics on crystal structure, degree of compaction, and the presence of ice inclusions. This makes the use of SAR data for accurate reconstruction of the surface geometry of technogenic stockpiles challenging [6]. As a result, radar methods are mainly applied in scientific studies focused on snow cover dynamics and metamorphism and are much less frequently used for applied mine surveying and geodetic tasks.

Ground-penetrating radar (GPR) methods enable investigation of the internal structure of the snow cover and determination of its thickness and stratification, which are important for estimating snow water equivalent (SWE). However, in the presence of technogenic objects, the effectiveness of GPR is

significantly reduced. Metallic structures, density-heterogeneous rock mass fragments, ice crusts, and technogenic materials cause multiple false signal reflections, leading to decreased accuracy of the results [7]. Under industrial stockpile conditions, GPR methods do not provide the reliability required for volume calculations. Studies show that, despite GPR's ability to measure snow thickness, sharp relief variations and medium heterogeneities result in significant measurement errors and false signals, thereby limiting the reliability of these methods for practical tasks of accurate volume determination.

GNSS measurements remain one of the most accurate methods for determining the coordinates of individual points and serve as the basis for geospatial referencing of digital models. The application of RTK and PPK technologies enables centimeter-level coordinate accuracy, making GNSS a key element in the formation of a geodetic control network. GNSS measurements are used both to determine the coordinates of control points for georeferencing and calibration of UAV-based aerial survey data, and to survey characteristic points on snow-covered stockpile surfaces. Determining the coordinates of such points enables refinement of the object's geometric parameters and improves the accuracy of digital surface model generation under snow-covered conditions [8, 9]. However, at industrial stockpiles, GNSS accuracy may decrease due to signal obstruction by high stockpiles, metallic structures, and equipment.

The most universal and practice-oriented remote sensing method for investigating stockpile surfaces under snow cover conditions is UAV-based aerial photogrammetry. This method provides an optimal balance among accuracy, detail, and data-acquisition efficiency. The flexibility of flight planning, including the selection of flight altitude, survey trajectory configuration, camera tilt angle, and image overlap, enables the acquisition of high-quality data even over surfaces with low textural contrast [9]. Research results show that the use of oblique imagery increases the number of identifiable key points and enhances the robustness of photogrammetric modeling, enabling the generation of digital surface models with high accuracy and point cloud density comparable to TLS results, but at significantly lower costs [10].

An important advantage of UAVs is their ability to conduct regular surveys in environments with high temporal variability in snow cover. The generation of multi-temporal digital surface models enables minimizing errors in volume calculations and enhances personnel safety by eliminating the need to work in potentially hazardous areas [11].

At the same time, photogrammetric methods have several limitations related to the optical properties of the snow cover. Low textural informativeness, overexposure, shadows, and surface heterogeneity complicate terrain reconstruction and reduce the accuracy of digital surface models. Studies confirm that quality depends directly on illumination conditions and survey parameters [10, 12]. To improve processing robustness, high-precision georeferencing based on RTK/PPK data is applied, followed by point cloud registration with reference *snow-off* surface models using ICP algorithms, which has demonstrated high efficiency in modeling technogenic objects [7].

At the same time, photogrammetric methods have several limitations related to the optical properties of the snow cov-

er. Low textural informativeness, overexposure, shadows, and surface heterogeneity complicate terrain reconstruction and reduce the accuracy of digital surface models. Studies confirm that quality depends directly on illumination conditions and survey parameters. To improve processing robustness, high-precision georeferencing based on RTK/PPK data is applied, followed by point cloud registration with reference *snow-off* surface models using ICP algorithms, which has demonstrated high efficiency in modeling technogenic objects.

At the same time, it should be noted that the application of UAVs under snow-covered conditions is associated with several limitations. The main methodological drawback is that the photogrammetric model reflects the geometry of the snow cover surface rather than the actual shape of the stockpiled material. Under industrial stockpile conditions, this leads to the inclusion of snow volumes in volume calculations, whose magnitude and distribution exhibit high spatial heterogeneity [12]. This, in turn, introduces an additional error that cannot be eliminated solely by increasing survey resolution or point cloud density. Thus, the use of UAV-based photogrammetry during the winter period provides high accuracy in reconstructing the current surface but does not allow for the direct separation of the volumes of stockpiled material and snow cover.

An analysis of existing remote sensing methods shows that, for determining the volumes of stockpiled materials under snow-covered conditions, the highest efficiency is achieved by integrating GNSS measurements with UAV-based photogrammetric aerial surveys. This approach enables compensation for the limitations of individual methods, ensures continuous spatial coverage, achieves high modeling accuracy, improves the reliability of volume calculations, and enhances the safety of mine surveying operations.

Photogrammetry and surface modeling of stockpiles under snow-covered conditions using UAVs

During the winter period, the accuracy of surface modeling of stockpiled materials can be improved through the application of a combined approach that integrates UAV-based aerial photogrammetry and ground-based GNSS measurements [8, 9]. This approach makes it possible to account for the specific characteristics of snow cover formation and to reduce its impact on spatial modeling results and subsequent volume calculations.

Aerial photogrammetry is primarily used to obtain continuous coverage of the study area and to reconstruct the geometry of those parts of the stockpiles where the material surface is partially or fully exposed. These areas generally provide sufficient texture information for reliable photogrammetric reconstruction of stockpile shapes and operational platforms. Snow-covered areas, where the photogrammetric model mainly represents the snow surface, are supplemented and refined using ground-based GNSS measurements [8].

GNSS receivers operating in RTK and PPK modes are used to determine the coordinates of control points required for georeferencing and calibration of photogrammetric data, as well as to measure characteristic points such as edges, crests, and slopes. This makes it possible to refine the geometry of the object and improve the reliability of digital surface models under snow-covered conditions [8].

Aerial surveys are conducted according to a pre-designed flight scheme that is adapted to the characteristics of the object and survey conditions. Due to the low textural expression of snow surfaces, acquisition parameters are adjusted: longitudinal overlap is typically not less than 80–90%, transverse overlap is 70–80%, and flight altitude is selected to ensure higher spatial resolution and compensate for the loss of key points [9, 10].

To improve model quality, a combination of nadir and oblique imagery is applied. Nadir images are used to generate orthophotos and digital surface models, while oblique images with camera tilt angles of approximately 20–35° improve the accuracy of reconstructing steep slopes, edges, and low-texture areas [10]. Illumination conditions are also taken into account, as overexposure and shadows can significantly reduce processing quality [12].

The metric accuracy of photogrammetric models is largely determined by the accuracy of exterior orientation. The use of RTK/PPK technologies allows precise determination of camera positions and reduces georeferencing errors [8]. The integration of UAV-derived data with GNSS measurements of characteristic points ensures better agreement between the digital surface model and the actual geometry of the stockpiled material.

Thus, the combined method, based on the use of aerial photogrammetry for exposed areas and GNSS measurements for refining snow-covered zones, enables improved accuracy of spatial modeling and provides more reliable volume estimation of stockpiled materials under winter conditions [9, 11].

Scientific gaps and directions for further research

An analysis of published studies shows that existing remote sensing methods for snow cover are primarily focused on natural landscapes, mountainous areas, glacial environments, and tasks related to estimating snow depth or snow water equivalent [1–5, 9, 10]. However, determining the volumes of stockpiled materials at industrial storage sites during winter has a fundamentally different methodological nature, as it requires reconstruction not only of the snow surface but also of the actual geometry of the material partially or completely covered by snow.

One of the key scientific and methodological gaps is the lack of robust procedures for separating the snow surface from the surface of the stored material. UAV-based photogrammetry, laser scanning, and other remote sensing methods capture the upper visible or reflective surface of an object [6, 8, 11]. Under winter conditions, this surface is often snow, which forms drifts, cornices, local accumulations, and wind-eroded zones. As a result, digital models may include elements that do not belong to the actual geometry of the material, leading to systematic errors in volume estimation [6, 7].

A significant limitation is the insufficient adaptation of existing approaches to technogenic (man-made) terrain conditions. Most studies on UAV photogrammetry and laser scanning of snow cover have been conducted for natural slopes, mountainous regions, forested areas, or open terrain [3, 4, 7, 9]. In contrast, industrial storage sites are characterized by artificial geometry, steep slopes, sharp elevation changes, continuous material movement, and the impact of heavy machinery, which limits the direct transfer of existing methodologies.

Another issue is the insufficient reproducibility of digital models obtained from multi-temporal surveys. Even when

maintaining similar acquisition parameters, differences between snow surface models can be significant due to variations in snow structure, illumination conditions, wind redistribution, and metamorphic processes [2, 6, 10, 12]. For industrial stockpiles, this problem is exacerbated by changes in the surface of the stored material itself due to loading, unloading, and material displacement, which limits direct comparison between *snow-on* and *snow-off* models [3, 7].

The optimization of aerial survey parameters for technogenic objects in winter conditions remains insufficiently studied. It is known that the accuracy of photogrammetric modeling of snow surfaces depends on flight altitude, image overlap, spatial resolution, lighting conditions, shadows, and the use of oblique imagery [4, 6, 9]. However, there are no universal recommendations for selecting camera tilt angles, flight altitude, flight planning schemes, and overlap parameters specifically for industrial storage sites.

An additional limitation is the ambiguity in applying radar and ground-penetrating radar (GPR) methods for volumetric assessment tasks. SAR data are sensitive to the physical properties of snow cover; however, their use for accurate reconstruction of stockpile geometry is complicated by the complexity of interpreting the reflected signal [1, 2]. GPR methods allow determination of snow thickness and internal structure, but their effectiveness at industrial sites is reduced due to the heterogeneity of stored materials, metallic structures, ice layers, and false reflections [2].

Thus, the research gap lies not in the absence of technologies for acquiring spatial data, but in the lack of an adapted methodology for their application to accurately determine the volumes of stockpiled materials under snow cover conditions. Future research should focus on the development of a combined approach integrating UAV photogrammetry, high-precision GNSS measurements, the use of multi-temporal digital surface models, and procedures for compensating the influence of snow cover [6, 7, 10, 12].

Conclusion

The conducted review has shown that the problem of determining the volumes of stockpiled materials in winter conditions cannot be solved solely by increasing the accuracy or level of detail of remote sensing data. The main methodological limitation lies in the fact that, in the presence of snow cover, the digital surface model reflects not the actual geometry of the stored material, but the upper surface of the snow. As a result, the calculated volume includes snow masses, the distribution of which is characterized by high spatial heterogeneity and temporal variability.

It has been established that most existing studies on UAV photogrammetry, LiDAR, SAR, and GPR are focused on natural snow-covered surfaces, tasks related to snow depth estimation, or the assessment of snow water equivalent. Their direct application to industrial storage sites is limited, since technogenic objects are characterized by complex artificial geometry, steep slopes, shadowed areas, low-texture zones, and a constantly changing surface of the stored material.

The most promising direction for solving this problem in practice is the integration of UAV photogrammetry with high-precision GNSS measurements and the use of multi-tem-

poral surface models. Such an approach makes it possible to ensure continuous spatial coverage of the object, improve the reliability of georeferencing, and partially compensate for the influence of snow cover on volumetric calculations.

The scientific significance of this review lies in the systematization of sources of uncertainty arising in the modeling of industrial stockpiles under winter conditions, as well as

in substantiating the need for the development of an adaptive methodology for accounting for snow cover. The practical significance consists in the possibility of applying the obtained results in planning winter mine surveying and geodetic operations, selecting UAV survey parameters, organizing GNSS control, and assessing the reliability of volume calculations for stockpiled materials.

REFERENCES

1. Kashkin V. B., Sukhinin A. I. *Distantstionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Remote Sensing of the Earth from Space. Digital Image Processing]. – Moscow: Logos, 2018. – 264 p. (in Russian)
2. Shevchenko I. A. *Metody obrabotki dannykh distantstionnogo zondirovaniya* [Methods of Remote Sensing Data Processing]. – Saint Petersburg: Piter, 2017. – 280 p. (in Russian)
3. Mapping snow depth in alpine terrain with unmanned aerial systems (UASs): potential and limitations / Y. Bühler et al. // *The Cryosphere*. – 2016. – Vol. 10. – P. 1075–1088 (in English)
4. Harder P., Pomeroy J. Estimating snow depth distribution using LiDAR and photogrammetry // *Hydrological Processes*. – 2015. – Vol. 29. – P. 1–14 (in English)
5. Snow depth estimation at large scale using satellite data and deep learning / R. C. Daudt et al. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 198. – P. 102–117 (in English)
6. James M. R., Robson S. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 2017. – Vol. 42. – P. 210–224 (in English)
7. Quantifying uncertainties in snow depth mapping from UAV photogrammetry / J. Goetz et al. // *Earth Surface Dynamics*. – 2019. – Vol. 7. – P. 825–847 (in English)
8. Lebedev S. V., Orlov P. N. *Osobennosti geodezicheskikh izmerenii v zimnikh usloviyakh* [Features of Geodetic Measurements under Winter Conditions]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography]. – 2021. – No. 3. – P. 18–24 (in Russian)
9. Smith M. W., Carrivick J. L., Quincey D. J. Structure from Motion photogrammetry in physical geography // *Progress in Physical Geography*. – 2016. – Vol. 40. – No. 2. – P. 247–275 (in English)
10. De Michele C., Avanzi F. Snow cover mapping using UAV photogrammetry // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10. – No. 10. – Article 1541 (in English)
11. Exploring snow distribution dynamics using UAV LiDAR / K. Koutantou et al. // *Journal of Hydrology*. – 2022. – Vol. 610. – Article 127918 (in English)
12. Multitemporal accuracy and precision assessment of unmanned aerial system photogrammetry for snow depth mapping / M. S. Adams et al. // *Pure and Applied Geophysics*. – 2018. – Vol. 175. – P. 3303–3324 (in English)

ПАЙДАЛАНЫҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. *Жерді ғарыштан қашықтықтан зондау. Сандық кескіндерді өңдеу*. – Мәскеу: Логос, 2018. – 264 б. (орыс тілінде)
2. Шевченко И. А. *Қашықтықтан зондау деректерін өңдеу әдістері*. – Санкт-Петербург: Питер, 2017. – 280 б. (орыс тілінде)
3. Bühler Y., Adams M. S., Bösch R., Stoffel A. Ұшқышсыз ұшу аппараттары арқылы таулы аймақтарда қар қалыңдығын карталау: мүмкіндіктері мен шектеулері / Y. Bühler [және т. б.] // *The Cryosphere*. – 2016. – Т. 10. – Б. 1075–1088 (ағылшын тілінде)
4. Harder P., Pomeroy J. LiDAR және фотограмметрия арқылы қар қалыңдығының таралуын бағалау // *Hydrological Processes*. – 2015. – Т. 29. – Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
5. Daudt R. C. және т.б. Жерсеріктік деректер мен терең оқыту негізінде қар қалыңдығын ірі ауқымда бағалау / R. C. Daudt [және т. б.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2023. – Т. 198. – Б. 102–117 (ағылшын тілінде)
6. James M. R., Robson S. БПЛА және жерүсті кескіндерінен алынған топографиялық модельдердегі жүйелік қателіктерді азайту // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 2017. – Т. 42. – Б. 210–224 (ағылшын тілінде)
7. БПЛА фотограмметриясы негізінде қар қалыңдығын анықтаудағы белгісіздіктерді бағалау / J. Goetz [және т. б.] // *Earth Surface Dynamics*. – 2019. – Т. 7. – Б. 825–847 (ағылшын тілінде)
8. Лебедев С. В., Орлов П. Н. Қысқы жағдайларда геодезиялық өлшеулердің ерекшеліктері // *Геодезия және картография*. – 2021. – № 3. – Б. 18–24 (орыс тілінде)
9. Smith M. W., Carrivick J. L., Quincey D. J. Физикалық географияда Structure-from-Motion фотограмметриясы // *Progress in Physical Geography*. – 2016. – Т. 40. – № 2. – Б. 247–275 (ағылшын тілінде)
10. De Michele C., Avanzi F. БПЛА фотограмметриясы арқылы қар жамылғысын карталау // *Remote Sensing*. – 2018. – Т. 10. – № 10. – 1541 (ағылшын тілінде)
11. БПЛА LiDAR көмегімен қардың таралу динамикасын зерттеу / K. Koutantou [және т. б.] // *Journal of Hydrology*. – 2022. – Т. 610. – 127918 (ағылшын тілінде)

12. Қар қалыңдығын анықтауда БПЛА фотограмметриясының көпмақалдықтық дәлдігі мен нақтылығын бағалау / М. S. Adams [және т. б.] // *Pure and Applied Geophysics*. – 2018. – Т. 175. – Б. 3303–3324 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2018. – 264 с. (на русском языке)
2. Шевченко И. А. Методы обработки данных дистанционного зондирования. – СПб.: Питер, 2017. – 280 с. (на русском языке)
3. Картографирование глубины снежного покрова в альпийской местности с использованием беспилотных авиационных систем (БАС): возможности и ограничения / Y. Bühler [и др.] // *The Cryosphere*. – 2016. – Т. 10. – С. 1075–1088 (на английском языке)
4. Harder P., Romero J. Оценка распределения глубины снежного покрова с использованием LiDAR и фотограмметрии // *Hydrological Processes*. – 2015. – Т. 29. – С. 1–14 (на английском языке)
5. Оценка глубины снежного покрова в крупном масштабе с использованием спутниковых данных и методов глубокого обучения / R. C. Daudt [и др.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2023. – Т. 198. – С. 102–117 (на английском языке)
6. James M. R., Robson S. Снижение систематических ошибок в топографических моделях, полученных с помощью БПЛА и наземных сетей изображений // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 2017. – Т. 42. – С. 210–224 (на английском языке)
7. Количественная оценка неопределенностей при картографировании глубины снежного покрова на основе фотограмметрии с БПЛА / J. Goetz [и др.] // *Динамика земной поверхности*. – 2019. – Т. 7. – С. 825–847 (на английском языке)
8. Лебедев С. В., Орлов П. Н. Особенности геодезических измерений в зимних условиях // *Геодезия и картография*. – 2021. – № 3. – С. 18–24 (на русском языке)
9. Smith M. W., Carrivick J. L., Quincey D. J. Фотограмметрия Structure from Motion в физической географии // *Progress in Physical Geography*. – 2016. – Т. 40. – № 2. – С. 247–275 (на английском языке)
10. De Michele C., Avanzi F. Картографирование снежного покрова с использованием фотограмметрии БПЛА // *Дистанционное зондирование*. – 2018. – Т. 10. – № 10. – Ст. 1541 (на русском языке)
11. Исследование динамики распределения снежного покрова с использованием LiDAR на БПЛА / K. Koutantou [и др.] // *Journal of Hydrology*. – 2022. – Т. 610. – Ст. 127918 (на английском языке)
12. Оценка точности и прецизионности многовременной фотограмметрии с использованием беспилотных авиационных систем для картографирования глубины снежного покрова / М. S. Adams [и др.] // *Pure and Applied Geophysics*. – 2018. – Т. 175. – С. 3303–3324 (на английском языке)

Information about the authors:

Ozhigin D., Ph.D, associate professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), d.ozhigin@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-2443-3068>

Dolgonosov V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), v.dolgonosov@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Yartseva V., Master, Senior Lecturer of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), v.yartseva@ktu.edu; <https://orcid.org/0000-0003-3015-0280>

Galiullina K., Master student of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), kgaliullina461@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-1011-4283>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ожигин Д. С., Ph.D, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доценті, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Долгоносоев В. Н., т. ғ. д., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ярцева В. Ф., магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Галиуллина К. Р., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Ожигин Д. С., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Долгоносоев В. Н., д. т. н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Ярцева В. Ф., магистр, ст. преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Галиуллина К. Р., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 36.23.27

Г. К. Джангулова¹, О. С. Курманбаев¹, Г. К. Байдаулетова¹, Э. Рубинов²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан),

²FIG 5 ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (ГНСЖ) жұмыс тобы (Мельбурн қ., Австралия)

ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ ИНТЕГРАЦИЯСЫМЕН ИНЖЕНЕРЛІК ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІ

Аннотация. Жұмыста қазіргі заманғы GNSS-технологияларды және деректерді өңдеудің цифрлық әдістерін қолдана отырып, Алматы өңірі жағдайында геоэкономикалық процестер мен инженерлік құрылыстардың мониторингі үшін пландық-биіктіктік геодезиялық негіздеме жасау ерекшеліктері қарастырылады. ITRF2014 халықаралық координаттар жүйесі, жаһандық және өңірлік деңгейдегі базалық GNSS-станциялары негізінде геодезиялық желіні құру қағидаттары, сондай-ақ BERNES 5.2 және AUSPOS бағдарламалық орталарында ALMA базалық станциясының статикалық бақылауларын өңдеу нәтижелері ұсынылған. Алынған нәтижелер Алматы өңірінің сейсмикалық жағдайында жер қыртысының қазіргі заманғы қозғалыстары мен деформациялық процестердің мониторингін геодезиялық қамтамасыз ету негізі ретінде GNSS-технологияларды қолданудың тиімділігін растайды.

Түйінді сөздер: GNSS-өлшемдері, статикалық әдіс, геоэкономикалық бақылау, GNSS-деректерін өңдеу, координат дәлдігі, геодезиялық тор.

Geodetic monitoring of geodynamic processes of engineering structures with integration of digital technologies

Abstract. The paper considers the features of creating a planned high-altitude geodetic justification for monitoring geodynamic processes and engineering structures in the Almaty region using modern GNSS technologies and digital data processing methods. The principles of constructing a geodetic network based on the international coordinate system ITRF2014, GNSS base stations at global and regional levels, as well as the results of processing static observations of the ALMA base station in BERNES 5.2 and AUSPOS software environments are presented. The results obtained confirm the effectiveness of using GNSS technologies as the basis for geodetic monitoring of modern movements of the Earth's crust and deformation processes in the seismically active conditions of the Almaty region.

Key words: GNSS measurements, static method, geodynamic monitoring, GNSS data processing, coordinate accuracy, geodetic network.

Геодезический мониторинг геодинамических процессов инженерных сооружений с интеграцией цифровых технологий

Аннотация. В работе рассматриваются особенности создания плано-высотного геодезического обоснования для мониторинга геодинамических процессов и инженерных сооружений в условиях Алматинского региона с применением современных GNSS-технологий и цифровых методов обработки данных. Представлены принципы построения геодезической сети на основе международной системы координат ITRF2014, базовых GNSS-станций глобального и регионального уровней, а также результаты обработки статических наблюдений базовой станции ALMA в программных средах BERNES 5.2 и AUSPOS. Полученные результаты подтверждают эффективность применения GNSS-технологий в качестве основы геодезического обеспечения мониторинга современных движений земной коры и деформационных процессов в сейсмически активных условиях Алматинского региона.

Ключевые слова: GNSS-измерения, статический метод, геодинамический мониторинг, обработка GNSS-данных, точность координат, геодезическая сеть.

Кіріспе

Инженерлік құрылыстардың мониторингін геодезиялық қамтамасыз етудің қазіргі тәжірибесінде дәстүрлі аспаптар мен әдістер цифрлық технологияларға көбірек жол береді, олардың арасында жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (ЖНСЖ) аппаратурасы ерекше маңызға ие. Геодезиялық GNSS қабылдағыштарын пайдалану инженерлік құрылымдардың деформациялары мен орын ауыстыруларын зерттеуде маңызды болып табылатын бақыланатын нүктелердің жоспарлы және биіктік жағдайын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Цифрлық технологияларды интеграциялау негізінде геоэкономикалық процестердің геодезиялық мониторингі әдістемесін қолдану шеңберінде мұндай құралдар кеңістіктік деректерді алу құралдары болып табылады [1, 2].

Спутниктік технологияларды кеңінен енгізу геодезиялық мониторинг мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті және іс жүзінде инженерлік геодезияны дамытудың жаңа кезеңі болды. GNSS әдістерінің негізгі артықшылықтарына бақылау нүктелері арасында өзара көріну қажеттілігінің болмауы, өлшеулерді орындаудың жоғары жеделдігі, бірыңғай координаталық жүйеде жұмыс істеу мүмкіндігі, сондай-ақ көптеген дәстүрлі әдістердің көрсеткіштерінен едәуір асатын дәлдік жатады. Бұл Алматы өңірінің инженерлік құрылыстарын мониторингілеу кезінде ерекше маңызды, мұнда табиғи-рельефті жағдайлар, урбандалған орта және аумақтың геоэкономикалық белсенділігі жоғары

дәлдіктегі, орнықты және технологиялық интеграцияланған бақылау әдістерін қолдануды талап етеді.

Жерсеріктік технологиялар негізінде инженерлік құрылыстарды мониторингілеу үшін геодезиялық негіздемені қалыптастыру кезінде, әдетте, түбегейлі жаңа жиілету торларын құру талап етілмейді, өйткені қазіргі заманғы GNSS-бақылаулармен толықтырылған мемлекеттік және жергілікті геодезиялық торлардың қолданыстағы пункттері бастапқы негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін. Цифрлық технологияларды интеграциялау негізінде геоэкономикалық процестердің геодезиялық мониторингі әдістемесін қолдану шеңберінде мұндай тәсіл бұрын құрылған геодезиялық негіздің сабақтастығын қамтамасыз етуге және бір мезгілде бақылауларды координаттық қамтамасыз етудің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді [3, 4].

GNSS қолданған кезде байқалатын нүктенің орнын абсолютті және салыстырмалы позициялау әдістерімен анықтауға болады. Алайда, инженерлік құрылыстарды жоғары дәлдікпен мониторингтеу міндеттері үшін Алматы өңірі жағдайында геоэкономикалық және деформациялық процестерге тән шағын кеңістіктік қозғалыстарды анықтаудың неғұрлым жоғары дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін салыстырмалы әдістердің маңызы зор.

GNSS термині бақылау объектілерін жоғары дәлдікпен орналастыру үшін қажетті координаттар, уақыт және навигация параметрлері туралы ғаламдық ақпарат алуға мүмкіндік беретін спутниктік навигациялық жүйелерді бі-

ріктіреді. GNSS отбасына GPS, GLONASS, Galileo және басқа спутниктік топтар сияқты жүйелер кіреді, оларды бөлісу геодезиялық бақылау мүмкіндіктерін едәуір кеңейтеді. Геодинамикалық процестерді зерттеу және инженерлік құрылыстардың жай-күйін бақылау жағдайында GNSS технологиялары объектілердің орын ауыстыруы мен деформациясы туралы кеңістіктік-уақыттық ақпаратты алудың негізгі құралдарының бірі болып табылады [5].

GNSS-ті интеграцияланған геодезиялық бақылау жүйесінде қолдану Шығыс – Батыс, Солтүстік – Оңтүстік және жоғары – төмен бағыттар бойынша үш өлшемді координаттар жүйесіндегі бақылау нүктелерінің кеңістіктік орнын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді, бұл қазіргі заманғы деформациялық процестерді бағалау кезінде ерекше маңызды. Жоғары дәлдіктегі спутниктік бақылаулар шағын қозғалыстарды, оның ішінде миллиметрлік диапазонда тіркеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл әдісті геодинамикалық және техногендік факторлардың әсеріне ұшыраған инженерлік құрылыстардың тұрақтылығын мониторингтеуде тиімді етеді [6].

Геодезиялық мониторинг шеңберіндегі GNSS технологияларының негізгі артықшылықтарына мыналар жатады: координаттарды анықтаудың жоғары дәлдігі, автоматтандырылған режимде үздіксіз бақылау мүмкіндігі, деректерді алудың сенімділігі, сондай-ақ бақыланатын нүктелер жағдайындағы ауытқуларды анықтаудың жеделдігі. Спутниктік өлшемдерді электрондық тахеометрия, лазерлік сканерлеу, Жерді қашықтықтан зондау, инерциялық датчиктер, ГАЗ-платформалар және деректерді өңдеудің автоматтандырылған жүйелері сияқты басқа цифрлық технологиялармен біріктіру мониторингтің ақпараттылығын едәуір арттырады және инженерлік құрылымдар орналасқан аймақтағы геодинамикалық процестердің дамуының кешенді көрінісін қалыптастыруға мүмкіндік береді [7].

Сонымен қатар, GNSS аймақтық және аймақтық сипаттағы деформацияларды, соның ішінде тектоникалық қозғалыстарды, геодинамикалық қозғалыстарды және баяу деформациялық процестерді тиімді көрсетеді. Бұл ретте құрылыстың жекелеген құрылымдық элементтері шегінде немесе шағын учаскелерде туындайтын жергілікті өзгерістерді тек спутниктік деректер бойынша ғана анықтау мүмкін емес, бұл бақылау станцияларының орналасу тығыздығының шектелуіне байланысты. Осыған байланысты, қазіргі тәжірибеде GNSS-ті жергілікті геодезиялық және геотехникалық әдістермен интеграциялау ерекше маңызға ие, бұл деформациялық көріністі егжей-тегжейлі және орын ауыстыру сипатын нақтылауды қамтамасыз етеді [8, 9].

Геодезиялық мониторинг әдістемесін құру үшін аумақтың қазіргі жай-күйі дамудың альпілік кезеңімен байланысты неотектоникалық белсенділікпен анықталатындығы, оның барысында ірі құрылымдардың блоктарға бөлінуі, тау аралық ойпаттардың қалыптасуы және терең ақауларды белсендіру фактісі ерекше маңызға ие. Өңір шегінде жер бетіндегі деформациялардың кеңістікте таралуын және қауіпті геодинамикалық процестердің дамуын бақылайтын Алматы, Іле, Боралдай, Қаскелең және Шілік-Кемин ақаулары, басқа тектоникалық бұзылулармен қатар ерекшеленеді [10, 11]. Ірі ақаулық аймақтар жақын

орналасқан параллель және жедел бұзылулар жүйелерімен ұсынылған, ал әртүрлі вертикалды қозғалыстардың амплитудасы бар қалыптасқан ұсақ блокты құрылым жер қыртысының қазіргі қозғалыстарын жоғары дәлдікпен және көп компонентті бақылау қажеттілігін көрсетеді.

Материалдар мен әдістер

Әдістемелік тұрғыдан алғанда, Алматы өңірі үшін бірыңғай геодезиялық желіге біріктірілген базалық станцияларды, тірек және бақылау пункттерін қамтитын көп деңгейлі мониторинг жүйесін қалыптастыру орынды. Мұндай желіні кеңістіктік ұйымдастыру бақыланатын учаскелердің белсенді ақаулар аймақтарына, аумақтың блоктық құрылымына, тау аралық ойпаттар мен тау беткейлерінің ерекшеліктеріне сәйкес келуін ескеруі керек. Деректерді өңдеу мен интерпретациялаудың цифрлық платформаларын қолдану бақылау нәтижелерін жинақтауды, салыстыруды және визуализациялауды автоматтандыруды қамтамасыз етеді, бұл деформациялық тенденцияларды анықтаудың жеделдігін айтарлықтай арттырады [7]. Осылайша, заманауи цифрлық технологияларды геодезиялық мониторинг жүйесіне біріктіру әртүрлі өлшемдерден геодинамикалық процестерді кешенді бағалауға көшуге мүмкіндік береді және жоғары тектоникалық және сейсмикалық белсенділік жағдайында зерттеулерге ғылыми негізделген сүйемелдеуді қамтамасыз етеді.

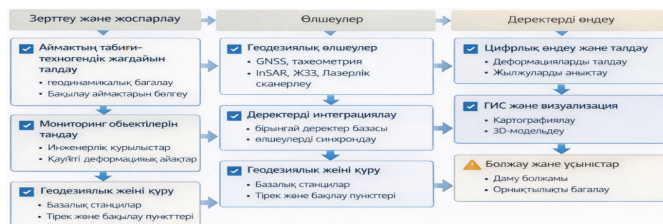
Сейсмикалық белсенді аймақтардағы геодинамикалық мониторинг сейсмикалық қауіпті бағалауда және табиғи және техногендік апаттар қаупін азайтуда шешуші рөл атқарады. Жер қыртысының заманауи қозғалыстары литосферада серпімді кернеулердің жинақталуының индикаторларының бірі ретінде қарастырылады, олардың разряды әртүрлі қарқындылықтағы сейсмикалық оқиғаларға әкелуі мүмкін. Ұзақ уақыт бойы деформацияларды геодезиялық Зерттеудің негізі жоғары дәлдіктегі нивелирлеудің және сызықтық-бұрыштық өлшеудің дәстүрлі әдістері болды. Дегенмен, жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (GNSS) дамуы жер қыртысының заманауи қозғалыстарын зерттеу мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтті және геодинамикалық зерттеулерді сапалы жаңа деңгейге шығарды [8]. Қазіргі жағдайда мониторинг мәселелерін тиімді шешу спутниктік, жердегі және цифрлық технологияларды деректерді бақылау, өңдеу және интерпретациялаудың бірыңғай жүйесіне біріктіруді көздейтін кешенді тәсіл негізінде ғана мүмкін болады. Табиғи – техногендік жағдайларды талдаудан және геодезиялық желіні қалыптастырудан бастап өлшемдерді орындауға, деректерді интеграциялауға, оларды цифрлық өңдеуге, визуализациялауға және болжауға дейінгі жұмыстарды ұйымдастырудың осындай реттілігі инженерлік құрылыстарды мониторингтеу кезінде геодинамикалық процестерді геодезиялық мониторингтеу әдістемесінің әзірленген схемасында көрсетілген (сурет 1).

Аумақты геодезиялық қамтамасыз етуді жаңғырту жағдайында жергілікті жағдайларға бейімделген ITRF координаттар жүйесін қолдану кеңістіктік деректердің дәлдігін арттырудың және мониторингтің заманауи цифрлық технологияларына көшудің негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Алматы өңіріндегі геодинамикалық про-

цестердің геодезиялық мониторингі міндеттері үшін мұндай тәсіл әртүрлі уақыт циклдерінде орындалған спутниктік бақылаулар нәтижелерінің салыстырмалылығын және оларды талдаудың бірыңғай цифрлық ортасына біріктіруді қамтамасыз ететін жоғары дәлдіктегі координаттық негізді салыстырмалы қысқа мерзімде қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Геодезиялық жұмыстардың заманауи практикасы дәстүрлі аспаптар мен әдістерді жаңа спутниктік технологиялармен белсенді алмастырумен сипатталады, олардың арасында ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелердің аппаратурасы ерекше орын алады. Геодезиялық GNSS қабылдағыштарын пайдалану бақыланатын нүктелердің кеңістіктік орналасуын жоспарда да, биіктікте де классикалық әдістермен салыстырғанда айтарлықтай жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Спутниктік технологиялардың маңызды артықшылығы пункттер арасында өзара көріну қажеттілігінің болмауы болып табылады, бұл бөлшектелген рельефпен, тау беткейлерімен және тектоникалық белсенділік учаскелерімен сипатталатын Алматы өңірінің күрделі табиғи жағдайларында ерекше маңызды.

Алматы өңірі жағдайындағы геодинамикалық процестерді мониторингілеу кезінде халықаралық базалық станцияларға байланыстыра отырып, пландық-биіктіктік геодезиялық негіздемені теңестірудің жоғарыда баяндалған әдістемесі қазіргі уақытта геоцентрлік санақ жүйесін неғұрлым дәл іске асырудың бірі болып табылатын және көптеген елдерде ұлттық координаттар жүйесін қалыптастыру үшін негіз болып табылатын ITRF жалпы жерүсті координаттар жүйесін пайдалануға негізделеді.



Сурет 1. Геодинамикалық үрдістердің геодезиялық мониторингі әдістемесінің алгоритмі.

Figure 1. The algorithm of the methodology of geodetic monitoring of geodynamic processes.

Рис. 1. Алгоритм методики геодезического мониторинга геодинамических процессов.

Геодезиялық мониторинг міндеттерінде ITRF қолдану бақылау пункттерінің жоғары дәлдіктегі кеңістіктік байланысын, халықаралық деңгейде алынған координаттық шешімдердің салыстырмалылығын, сондай-ақ бақылау нәтижелерін жаһандық және өңірлік геодинамикалық модельдермен біріктіру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. 2-суретте геодинамикалық процестердің геодезиялық мониторингі жүйесінде пайдаланылатын Қапшағай ауданында орнатылған базалық GNSS-станциясы көрсетілген.

Станция ғимараттың құрылымдық элементіне бекітілген қатты бекітілген металл тірекке орналасты-

рылған, бұл антеннаның тұрақтылығын және негіздің жергілікті деформацияларының әсерін азайтады. Станция жер қыртысының заманауи қозғалыстарын талдау және деформациялық процестерді бағалау үшін қолданылатын координаттардың уақыт қатарын құра отырып, тұрақты бақылау режимінде жұмыс істейді. Алынған мәліметтер өңдеу орталығына беріледі, онда олар бірыңғай тірек геодезиялық желіні құра отырып, аймақтың басқа базалық станцияларының нәтижелерімен біріктіріледі.



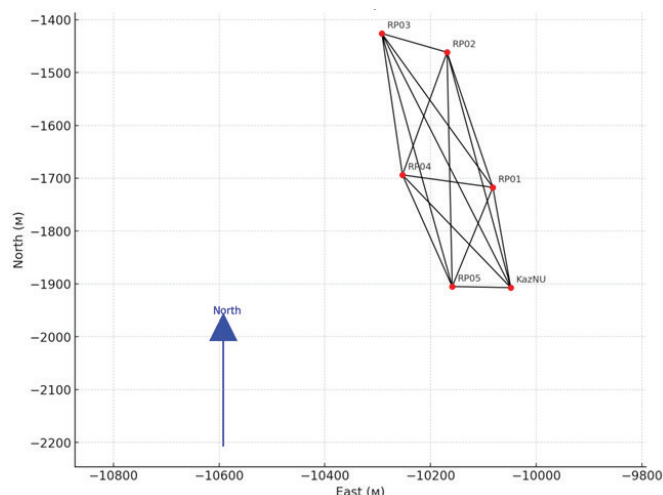
Сурет 2. Базалық GNSS-Қапшағай ауданында орнатылған станция.

Figure 2. The base GNSS station installed in Kapshagai district.

Рис. 2. Базовая GNSS-станция, установленная в Капшагайском районе.

Алматы өңірінде осындай базалық станцияларды пайдалану бақылау пункттерінің жоғары дәлдіктегі кеңістіктік байланысын қамтамасыз етуге, мониторинг нәтижелерінің дұрыстығын арттыруға және жергілікті өлшемдерді жаһандық геодинамикалық модельдермен интеграциялау-ды іске асыруға мүмкіндік береді.

Өңірлік ерекшеліктерді ескере отырып, пландық-биіктіктік геодезиялық негіздемені құрудың ұсынылған әдістемесін сынақтан өткізу мақсатында эксперименттік объект ретінде Алматы қаласында Ташкент көшесі мен Бауыржан Момышұлы даңғылының қиылысында орналасқан көпір айырбасы таңдалды [10]. Бұл инженерлік құрылысты таңдау оның көліктік маңыздылығына, қарқынды қалалық құрылыс жағдайында орналасу ерекшеліктеріне және табиғи және техногендік факторлардың әсерінен объектілерді геодезиялық мониторингтеу кезінде әзірленген тәсілдің қолданылуын практикалық бағалау мүмкіндігіне байланысты. Осы объектідегі әдістемені сынақтан өткізу геодезиялық негіздемені құрудың таңдалған схемасының тиімділігін, Халықаралық Базалық станцияларға байланудың дәлдік мүмкіндіктерін және алынған нәтижелердің деформациялық процестерді кейінгі мониторингтеу үшін жарамдылығын бағалауға мүмкіндік берді (сурет 3).



Сурет 3. Көпір құрылыстарын зерттеуге арналған GNSS желісінің орналасуы.

Рис. 3. Расположение сети GNSS для исследования мостовых сооружений.

Figure 3. Location of the GNSS network for bridge research.

Суретте 3. К. Сәрсембекованың пландық-биіктіктік негіздемесін құру кезіндегі зерттеулері аясында құрылған геодезиялық GNSS желісінің сызбасы көрсетілген. Желіге базистік сызықтар жүйесімен өзара байланысты тірек пункттері (RPO1–RPO5), сондай-ақ Бірыңғай координаттар жүйесінде бастапқы пункт рөлін атқаратын KazNU базалық станциясына байланыстыру кіреді [10].

Желінің конфигурациясы нүктелер арасында жабық және диагональды байланыстардың болуымен сипатталады, бұл оның геометриялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді және теңестіру нәтижелерінің сенімділігін арттыра-

ды. Артық өлшеулердің болуы бақылау сапасын бақылауға, ықтимал қателерді анықтауға және желі нүктелерінің координаттарын анықтау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

KazNU базалық станциясына байланыстыру желіні халықаралық координаттар жүйесіне қосуды қамтамасыз етті, бұл жоғары дәлдіктегі кеңістіктік байланыстыруды және нәтижелерді жаһандық және өңірлік геодинамикалық модельдермен салыстыруды іске асыруға мүмкіндік береді. GNSS желісінің мұндай ұйымы инженерлік құрылыстарды бақылау және геодинамикалық процестерді зерттеу кезінде геодезиялық негіздеме құруға қойылатын заманауи талаптарға сәйкес келеді.

Пайдаланушы деректері. Барлық биіктік белгілері жер белгісінен антеннаның тірек нүктесіне (ARP) дейінгі тік қашықтықты білдіреді (1-кесте).

Нәтижелер және оларды талқылау.

Алдыңғы зерттеулердегідей, ALMA базалық станциясының статикалық шикі деректері BADG, CHUM, KIT3, POL2, TASH, URUM және ZECK әлемдік базалық станцияларына қатысты BERNESE Version 5.2 бағдарламалық жасақтамасында өңделді. Өңдеу нәтижесінде ITRF2014 жүйесіндегі станцияның географиялық және тікбұрышты координаттары анықталды, сонымен қатар EGM2008 моделі бойынша эллипсоидтық биіктік пен геоидтық биіктік мәндері есептелді. Алынған ALMA репері одан әрі геодезиялық зерттеулерді орындау үшін пландық-биіктік негіздемесінің негізгі пункті ретінде қабылданды. AUSPOS GPS деректерді өңдеу туралы есеп, наурыз 13, 2026, AUSPOS онлайн режимінде жүргізілген GPS деректерін өңдеу туралы есеп (нұсқа: AUSPOS 2.4).

Түсіру процесінің қысқаша сипаттамасы (2-кесте, 3-сурет). Базалық станциядағы қателік (3-кесте).

Кесте 1

Пайдаланушы деректері

Table 1

User Data

Таблица 1

Пользовательские данные

Станция (с)	Жіберілген файл	Антенна түрі	Антенна биіктігі (м)	Басталу уақыты	Аяқталу уақыты
ALMA	ALMA0710.260	STHCR3-G3 STHC	0.0000	2026/03/12 08:00:00	2026/03/12 13:59:30

Кесте 2

Түсіру процесі

Table 2

The shooting process

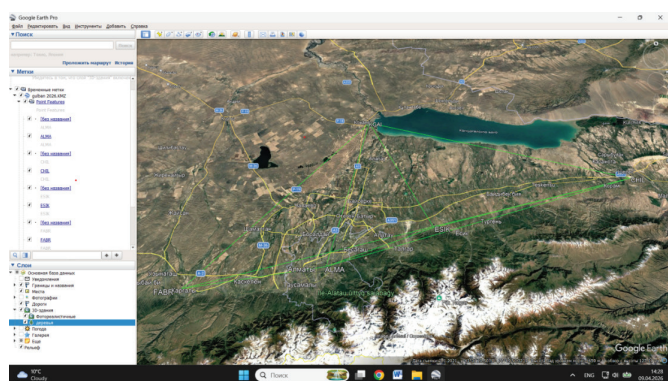
Таблица 2

Процесс съемки

Күні	Пайдаланатын станция	Анықталатын станциялар	Орбита түрі
2026/03/12 08:00:00	ALMA	BADG BIK0 CHUM KIT3 POL2 TASH ULAB URUM ZECK	IGS ультра жылдам

GNSS желісінің базалық желілерін екі негізгі көрсеткіш бойынша өңдеу нәтижелері бойынша: фазалық түсініксіздіктердің шешілу дәрежесі және базалық векторлардың ұзындығы [11].

Желі бойынша екіұштылықты шешудің орташа мәні 71,1%, ал базалық желінің орташа ұзындығы – 704,912 км. тұтастай алғанда, бұл желі қанағаттанарлық өңдеу сапасымен сипатталады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді, бірақ шешімдердің сенімділігі базалық желілердің ұзындығына айтарлықтай байланысты. Алматы өңірі жағдайындағы геоэкономикалық мониторинг міндеттері үшін қазіргі заманғы деформациялық процестерді кейінгі талдау кезінде координаталық анықтамалардың неғұрлым жоғары дәлдігін және нәтижелердің орнықтылығын қамтамасыз ететін қысқа және орташа базалық сызықтар неғұрлым қолайлы болып табылады.



Сурет 3. Alma тірек пункті мен CHIL, ESIG, FABR және KGAI жұмыс пункттерін қамтитын Алматы қаласының аумағындағы GNSS-желінің конфигурациясы.

Figure 3. The configuration of the GNSS network in the territory of Almaty, including the ALMA base and the work stations of CHIL, ESIG, FABR and KGAI.

Рис. 3. Конфигурация GNSS-сети на территории города Алматы, включающая опорный пункт ALMA и рабочие пункты CHIL, ESIG, FABR и KGAI.

Кесте 3

Базалық станциядағы қателік

Table 3

Error at the base station

Таблица 3

Погрешность на базовой станции

Базалық сызық	Екіұштылықты шешу, %	Базалық сызықтың ұзындығы, км
KIT3 – TASH	82.6	318.371
TASH – ZECK	0.0	2270.975
BIK0 – URUM	63.6	1062.861
BADG – ULAB	80.0	555.376
BIK0 – POL2	100.0	23.461
CHUM – TASH	77.3	487.331
BIK0 – ALMA	90.0	199.741
BIK0 – CHUM	78.3	23.951
BADG – URUM	68.5	1402.142
Орташа мән	71.1	704.912

Қорытындылар

Спутниктердің орбиталық ақпараты және жердің бағдарлану параметрлері халықаралық жоғары дәлдіктегі GNSS өңдеу стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз ететін ең дәл қол жетімді IGS өнімдері бойынша қабылданады. Біріктірілген алдын ала өңдеу алгоритмдері, қате модельдері және түзету жүйелері AUSPOS 3.0-де алынған нәтижелерді геодезиялық желіні теңестіру, нүктелердің координаттарын анықтау және жер бетінің заманауи деформацияларын кейіннен талдау үшін сенімді негіз ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, геоэкономикалық процестерді геодезиялық бақылау шеңберінде AUSPOS 3.0 пайдалану нәтижелердің дәлдігі, дәйектілігі мен қайталануының жоғары деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл шағын кеңістіктік қозғалыстарды анықтау және қазіргі геоэкономикалық белсенділікті бағалау талап етілетін Алматы өңірі жағдайында статикалық GNSS-бақылауларды өңдеу кезінде осы бағдарламалық-әдістемелік құралды қолданудың орындылығын растайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Варфоломеев А. Ф., Манухов В. Ф. Заманауи бағдарламаларды қолдана отырып, геодезиялық деректерді өңдеу: оқу құралы. – Саранск: Мордовия университетінің баспасы, 2017. – 92 б. (орыс тілінде)
2. Генике А. А., Побединский Г. Г. GPS ғаламдық спутниктік орналасу жүйесі және оны геодезияда қолдану. – Мәскеу: Картогеоцентр – Геодезиздат, 2000. – 272 б. (орыс тілінде)
3. ГКИНП (ОНТА)–02–262–02. ГЛОНАСС және GPS ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерін қолдана отырып, түсірілім негіздемесін дамыту және жағдай мен жер бедерін түсіру жөніндегі нұсқаулық. – Мәскеу: ЦНИИГАиК, 2002. – 124 б. (орыс тілінде)
4. Манухов В. Ф. Заманауи технологияларды пайдалана отырып, топографиялық түсірілім және инженерлік – геодезиялық жұмыстар әдістерін жетілдіру // Мордовия университетінің хабаршысы. – 2008. – № 1. – Б. 105–108 (орыс тілінде)
5. Геоэкономикалық процестер геодезиялық және қашықтықтан зондтау әдістерін қолдана отырып, метро инфрақұрылымын бақылау / N. Khamit [және т. б.] // Civil Engineering Journal. – 2025. – Т. 11. – № 10. – Б. 4353–4379 (ағылшын тілінде)
6. Көшкіннен туындаған залалды бағалаудың жаңа тәсілі / M. Del Soldato [және т. б.] // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – № 9. – 1684 (ағылшын тілінде)

7. Zaczek-Peplinska J., Kowalczyk A., Nowak A. Гидротехникалық құрылыстарды салу және пайдалану кезіндегі геоинженерлік қауіптерді бағалау үшін көп көзді геокеңістіктік деректерді біріктіру // *Journal of Water and Land Development*. – 2025. – № 65. – Б. 1–12 (ағылшын тілінде)
8. Инженерлік құрылыстар мен табиғи ортаның спутниктік геодезиялық мониторингі үшін еркін бағдарламалық қамтамасыз ету / А. П. Карпик [және т. б.] // *Вестник СГУГиТ*. – 2022. – Т. 27. – № 5. – Б. 43–54 (орыс тілінде)
9. Горохова Е. И. Лазерлік сканерлеу деректері бойынша инженерлік құрылыстардың геомониторингі және олардың деформацияларын болжау // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2016. – Т. 2. – № 1. – Б. 119–124 (орыс тілінде)
10. Сарсембекова З. К. Аймақтық ерекшеліктерді ескере отырып автожол көпірлерінің биіктік-жоспарлы параметрлерін негіздеу: философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация: 6D071100 – Геодезия. – Алматы, 2025. – 127 б. (қазақ тілінде)
11. Gargula T. Сызықтық-бұрыштық кеңістіктік жалған бақылаулар негізінде жергілікті координаттар жүйесінде GPS векторлық желісін реттеу // *Journal of Surveying Engineering*. – 2011. – Т. 137. – Б. 60–64 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Varfolomeev A. F., Manukhov V. F. *Obrabotka geodezicheskikh dannykh s ispol'zovaniem sovremennykh programm: uchebnoe posobie* [Geodetic data processing using modern software: textbook]. Saransk: Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta, 2017. – 92 p. (in Russian)
2. Genike A. A., Pobedinsky G. G. *Global'naya sputnikovaya sistema opredeleniya mestopolozheniya GPS i ee primeneniye v geodezii* [Global Positioning System (GPS) and Its Application in Geodesy]. Moscow: Kartogeotsentr – Geodezizdat, 2000. – 272 p. (in Russian)
3. GKNP (ONTA)–02-262-02. *Instruktsiya po razvitiyu s"emochного obosnovaniya i s"emke situatsii i rel'efa s primeneniem global'nykh navigatsionnykh sputnikovyykh sistem GLONASS i GPS* [Instructions for the Development of Survey Control and Surveying of Topography and Terrain Using Global Navigation Satellite Systems GLONASS and GPS]. – Moscow: TsNIIGAiK, 2002. 124 p. (in Russian)
4. Manukhov V. F. *Sovershenstvovanie metodov topograficheskikh s"emok i inzhenerno-geodezicheskikh rabot s ispol'zovaniem sovremennykh tekhnologii* [Improvement of Methods of Topographic Surveying and Engineering-Geodetic Works Using Modern Technologies] *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. – 2008. – No. 1. – P. 105–108 (in Russian)
5. *Geodynamic Processes Monitoring of Subway Infrastructure Using Geodetic and Remote Sensing Methods* / N. Khamit et al. // *Civil Engineering Journal*. – 2025. – Vol. 11. – No. 10. – P. 4353–4379 (in English)
6. *A new approach for landslide-induced damage assessment* / M. Del Soldato et al. // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – No. 9. – Article 1684 (in English)
7. Zaczek-Peplinska J., Kowalczyk A., Nowak A. *Integration of multi-source geospatial data for the assessment of geoengineering hazards during construction and operation of hydrotechnical structures* // *Journal of Water and Land Development*. – 2025. – No. 65. – P. 1–12 (in English)
8. *Svobodnoye programnoye obespecheniye dlya sputnikovogo geodezicheskogo monitoringa inzhenernykh sooruzhenii i prirodnoi sredy* [Free Software for Satellite Geodetic Monitoring of Engineering Structures and the Natural Environment] A. P. Karpik et al. *Vestnik SGUGiT* [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies]. – 2022. – Vol. 27. – No. 5. – P. 43–54 (in Russian)
9. Gorokhova E. I. *Geomonitoring inzhenernykh sooruzhenii i prognozirovaniye ikh deformatsii po dannym lazernogo skanirovaniya* [Geomonitoring of Engineering Structures and Prediction of Their Deformations Based on Laser Scanning Data] // *Interexpo GEO-Sibir* [Interexpo GEO-Siberia]. – 2016. – Vol. 2. – No. 1. – P. 119–124 (in Russian)
10. Sarsembekova Z. K. *Justification of the Elevation and Plan Parameters of Road Bridges Taking into Account Regional Features: PhD thesis: 6D071100 – Geodesy*. – Almaty, 2025. 127 p. (in Kazakh)
11. Gargula T. *GPS Vector Network Adjustment in a Local System of Coordinates Based on Linear-Angular Spatial Pseudo-Observations* *Journal of Surveying Engineering*. – 2011. – Vol. 137. – P. 60–64 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Варфоломеев А. Ф., Манухов В. Ф. *Обработка геодезических данных с использованием современных программ: учебное пособие*. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2017. – 92 с. (на русском языке)
2. Генике А. А., Побединский Г. Г. *Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии*. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2000. – 272 с. (на русском языке)

3. ГКИНП (ОНТА)–02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 124 с. (на русском языке)
4. Манухов В. Ф. Совершенствование методов топографических съёмок и инженерно- геодезических работ с использованием современных технологий // Вестник Мордовского университета. – 2008. – № 1. – С. 105–108 (на русском языке)
5. Мониторинг геодинамических процессов в инфраструктуре метрополитена с использованием методов геодезии и дистанционного зондирования / N. Khamit [и др.] // Civil Engineering Journal. – 2025. – Т. 11. – № 10. – С. 4353–4379 (на английском языке)
6. Новый подход к оценке ущерба, вызванного оползнями / M. Del Soldato [и др.] // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – № 9. – Ст. 1684 (на английском языке)
7. Zaczek-Replinska J., Kowalczyk A., Nowak A. Интеграция геопространственных данных из нескольких источников для оценки геотехнических опасностей при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений // Journal of Water and Land Development. – 2025. – № 65. – С. 1–12 (на английском языке).
8. Свободное программное обеспечение для спутникового геодезического мониторинга инженерных сооружений и природной среды / А. П. Карпик [и др.] // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 5. – С. 43–54 (на русском языке)
9. Горохова Е. И. Геомониторинг инженерных сооружений и прогнозирование их деформаций по данным лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 119–124 (на русском языке)
10. Сарсембекова З. К. Обоснование высотно-плановых параметров автодорожных мостов с учетом региональных особенностей: дис. ... доктора философии (PhD): 6D071100 – Геодезия. – Алматы, 2025. – 127 с. (на казахском языке)
11. Gargula T. Корректировка векторной сети GPS в локальной системе координат на основе линейно-угловых пространственных псевдонаблюдений // Journal of Surveying Engineering. – 2011. – Т. 137. – № 2. – С. 60–64 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Джангулова Г. К., техника ғылымдарының кандидаты, «Картография және геоинформатика» кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), gulnar_zan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7866-1031>

Құрманбаев О. С., Ph.D докторы, «Картография және геоинформатика» кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), olzhas_ak@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Байдаулетова Г. К., Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Картография және геоинформатика кафедрасының Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан), carlugast69@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2595-8106>

Рубинов Э., Ph.D доктор, FIG 5 ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (ГНСЖ) жұмыс тобының төлағасы (Мельбурн қ., Австралия), elrubinov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5492-2639>

Information about the authors:

Jangulova G., Candidate of Technical Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, Associate Professor of the «Cartography and Geoinformatics» Department (Almaty, Kazakhstan)

Kurmanbayev O., Ph.D, Associate Professor, «Cartography and Geoinformatics» Department Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Baidauletova G., Al-Farabi Kazakh National University, Department of «Cartography and Geoinformatics» Ph.D student (Almaty, Kazakhstan)

Rubinov E., Ph.D, Chair of the FIG Working Group 5 on GNSS (Melbourne, Australia)

Сведения об авторах:

Джангулова Г. К., канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры «Картография и геоинформатика», Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Құрманбаев О. С., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Картография и геоинформатика», Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Байдаулетова Г. К., Ph.D докторант кафедры «Картография и геоинформатика», Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Рубинов Э., Ph.D доктор, Председатель Рабочей группы FIG 5 по ГНСЖ (г. Мельбурн, Австралия)

Код МРНТИ 52.13.15

T. K. Isabek¹, M. S. Usenbekov¹, *A. M. Khamze¹, A. R. Abdiev²¹NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan),²«Kyrgyz State Technical University (KSTU) named after I. Razzakov» (Bishkek, Kyrgyzstan)

FORMATION OF METHANE COLLECTORS IN THE PROCESS OF UNDERMINING AND OVERMINING COAL SEAMS

Abstract. Mine methane, once viewed mainly as a safety concern, is now recognized as both a valuable energy resource and a significant greenhouse gas, particularly in regions such as the Karaganda Coal Basin. This study uses an integrated approach combining analysis of global methane drainage practices, rock mass movement and subsidence, gas emission modeling, and in-situ observations. Void volumes formed by bedding separation are estimated as the difference between theoretical and actual subsidence trough volumes and are considered potential methane reservoirs. The proposed model enables spatial assessment of void distribution and supports optimal placement of methane drainage boreholes in abandoned panels, improving methane recovery, reducing emissions, and enhancing environmental sustainability.

Key words: coal seam, mine methane, goaf voids, bedding separation, abandoned panel, gas content, degasification, methane reservoir, gas accumulation, gas capture.

Көмір қабаттарын астыңғы және үстіңгі өндіру процесінде метан коллекторларының қалыптасуы

Аңдатпа. Шахта метаны бұрын негізінен қауіпсіздік факторы ретінде қарастырылса, қазіргі уақытта ол құнды энергетикалық ресурс және маңызды парниктік газ ретінде танылады, әсіресе Қарағанды көмір бассейні сияқты өңірлерде. Бұл жұмыста кешенді тәсіл қолданылды: метанды дегазациялау бойынша әлемдік тәжірибені талдау, тау жыныстарының қозғалысы мен шөгуді зерттеу, газ бөлінуін модельдеу және натуралдық бақылаулар жүргізу. Қабаттардың ажырауынан пайда болатын қуыстар көлемі шөгудің мұддасының теориялық және нақты көлемдерінің айырмасы ретінде анықталып, метанның ықтимал жиналу аймағы ретінде қарастырылады. Ұсынылған модель қуыстардың кеңістіктік таралуын бағалауға және игерілген панельдерде дегазациялық ұңғымаларды оңтайлы орналастыруды негіздеуге мүмкіндік береді. Бұл метанды өндіруді арттыруға, шығарындыларды азайтуға және көмір өндіру аймақтарының экологиялық тұрақтылығын жақсартуға ықпал етеді.

Түйінді сөздер: көмір қабаты, шахталық метан, өндірілген кеңістік қуыстары, қабатаралық ажырау, тасталған панель, газ мөлшері, дегазация, метан жиналу резервуары, газ жиналу, газды жинау.

Формирование метановых коллекторов при подработке и надроботке угольных пластов

Аннотация. Метан шахт, ранее рассматривавшийся преимущественно как фактор безопасности, в настоящее время признан ценным энергетическим ресурсом и значительным парниковым газом, особенно в таких регионах, как Карагандинский угольный бассейн. В работе применяется комплексный подход, включающий анализ мирового опыта дегазации, изучение движения горных пород и оседания, моделирование газовыделения и натурные наблюдения. Объемы пустот, образующихся при расслоении пород, определяются как разность между теоретическим и фактическим объемами мутьды оседания и рассматриваются как потенциальные резервуары метана. Предложенная модель позволяет оценивать пространственное распределение пустот и обосновывать оптимальное размещение дегазационных скважин в отработанных панелях, что способствует повышению извлечения метана, снижению выбросов и улучшению экологической устойчивости угледобывающих регионов.

Ключевые слова: угольный пласт, шахтный метан, пустоты выработанного пространства, межслоевое расслоение, заброшенная панель, газоносность, дегазация, метановый коллектор, накопление газа, улавливание газа.

Introduction

Coal mine methane (CMM) represents both a potential hazard and a valuable energy resource. During the undermining and overmining of coal seams, natural methane collectors form in the rock mass, including bedding separation voids, boundary cracks, and residual workings. These voids serve as primary sites for gas accumulation and provide promising targets for methane extraction. Accurate quantification of these void volumes is critical for improving mining safety, optimizing coal production, and developing effective strategies for industrial and domestic utilization of methane [1].

In recent decades, global attention to methane extraction from abandoned or partially mined areas has intensified due to environmental, economic, and energy considerations. Residual and abandoned coal seams, as well as worked-out mine sections, are major sources of methane accumulation and migration, posing risks to surface infrastructure and atmospheric balance. On average, one tonne of abandoned coal can contain 5–10 m³ or more of methane, highlighting the potential energy value of these otherwise inaccessible resources.

Modern methane recovery strategies integrate safety improvement, emission reduction, and energy utilization. They include extraction during mining, pre-drainage of coal seams, and recovery from abandoned workings. This study focuses on methane collector formation during undermining and overmining, proposing a dynamic model to estimate bedding separation volumes and gas accumulation based on mining and geological parameters [2].

This modeling approach provides a scientifically grounded framework for planning safe and efficient methane extraction, enabling better resource management in both active and abandoned coal mines while addressing ecological concerns and promoting sustainable energy use.

Analysis of rock mass movement and surface deformation processes during coal seam mining

Coal seam extraction disrupts the natural equilibrium of the rock mass, resulting in its deformation and displacement. Immediately above the goaf of the coal seam, a caving zone is formed.

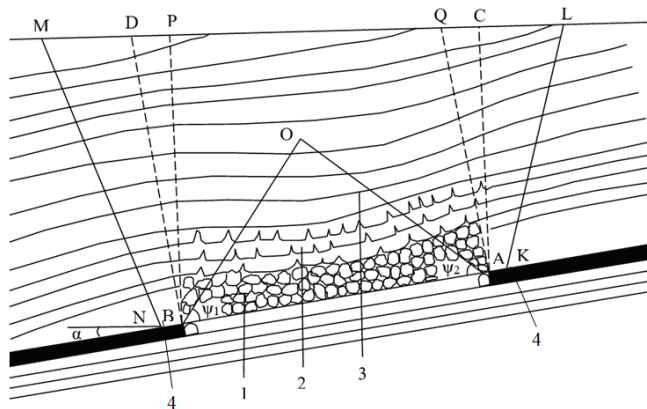
The portion of the rock mass subjected to deformations and movements under the influence of mining operations is referred to as the rock mass movement zone, while the section of the Earth's surface exhibiting subsidence and deformation is termed the subsidence trough. The boundary of the subsidence trough on the surface is defined by boundary angles [3].

Surface subsidence and deformation depend on mining and geological factors such as seam thickness, depth, dip angle, rock strength, overburden thickness, mining method, and extraction size.

The undermining coefficient is the ratio of the actual mined area to that required for full subsidence. Two types are distinguished: full undermining, where subsidence no longer increases, and partial undermining, where subsidence continues to grow with mining area expansion.

Ensuring methane extraction from abandoned mine panels through surface vertical boreholes requires determining opti-

mal borehole locations based on the intersection of the most probable gas collectors. A model of void and fracture formation filled with gas can be constructed by analyzing patterns of rock mass movement during longwall mining in conjunction with variations in gas-dynamic parameters of coal seams. Based on established scientific data, at least four zones can be distinguished (Figure 1): caving zone, fractured zone, continuous bending zone (without loss of continuity), and abutment pressure zones [4].



1 – caving zone (disordered collapse); 2 – fractured zone; 3 – continuous bending zone (no loss of continuity); 4 – NB and AK – abutment pressure zones; AOB – zone of full normal displacements; ψ_1 , ψ_2 – full subsidence angles; MNKL – movement zone; DP and QC – surface sections most prone to tensile fractures; α – seam dip angle

1 – опырылу аймағы (тау жыныстарының ретсіз опырылуы); 2 – жарықшақтану аймағы; 3 – тұтастығы бұзылмайтын иілу аймағы; 4 – NB және AK – тіректік қысым аймақтары; AOB – толық қалыпты ығысулар аймағы; ψ_1 , ψ_2 – толық шөгудің бұрыштары; MNKL – тау жыныстары қозғалысының аймағы; DP және QC – жер бетінің созылу жарықшақтарының түзілуіне ең бейім учаскелері; α – көмір қабатының құлау бұрышы

1 – зона обрушения (хаотичное обрушение пород);
2 – зона трещинообразования;
3 – зона сплошного изгиба (без нарушения сплошности массива); 4 – NB и AK – зоны опорного давления; AOB – зона полных нормальных смещений; ψ_1 , ψ_2 – углы полных оседаний; MNKL – зона сдвига горных пород;
DP и QC – участки земной поверхности, наиболее подверженные образованию трещин растяжения; α – угол падения угольного пласта

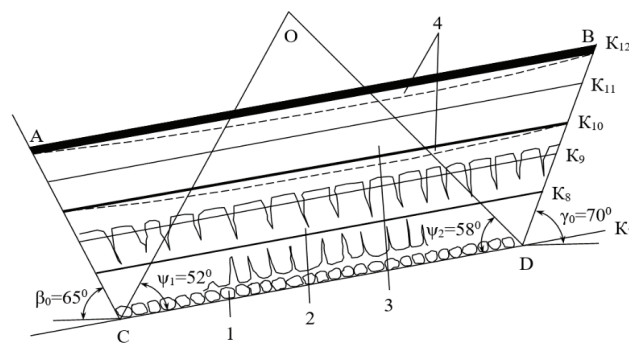
Figure 1. Zones of influence of a longwall face on the surrounding rock mass under full caving roof control.

Сурет 1. Төбесі толық құлатылып басқарылатын ұзын лава жағдайында қоршаған тау жыныстары массивіне ұзын лаваның әсер ету аймақтары.

Рис. 1. Зоны влияния очистного забоя на окружающий горный массив при полном обрушении кровли.

Based on concepts of rock mass movement mechanisms and coal seam gas dynamics, an analysis was performed of

potential gas collector formation under conditions of mining seam K₇ at the Industrial section of the Karaganda Basin. The scenario considered involved extraction of the lower seam K₇, with coal pillars left in seams K₁₀ and K₁₂ (Figure 2). Calculations and analysis indicate that the height of the disordered caving zone for seam K₇ is 6.0 m, and it does not encompass any coal seams or interbeds.



1 – disordered caving zone, $h_0 = 6$ m; 2 – fracture formation zone, $h_0 = 40$ m; 3 – continuous bending zone of rock layers; 4 – bedding separation voids

1 – ретсіз опырылу аймағы, $h_0 = 6$ м;
2 – жарықшақтардың түзілу аймағы, $h_0 = 40$ м;
3 – тау жыныстары қабаттарының тұтас иілу аймағы; 4 – қабатаралық ажырау қуыстары

1 – зона беспорядочного обрушения, $h_0 = 6$ м; 2 – зона образования трещин, $h_0 = 40$ м;
3 – зона сплошного изгиба слоев горных пород;
4 – полости межслоевого расслоения

Figure 2. Schematic diagrams of rock mass movement.
Сурет 2. Тау жыныстары қозғалысының сызбалық схемалары.

Рис. 2. Схематические схемы движения горного массива.

Seams K₈ and K₉ fall within the 40-m-high fracture zone and release methane into the goaf of the K₇ longwall. Seams K₁₀, K₁₁, and K₁₂ lie in the continuous bending zone without loss of continuity. The maximum subsidence in the region of full subsidence angles is concentrated toward the center of the longwall. The undermined seams K₁₀ and K₁₂, entering the movement zone, experience unloading from mining pressure and deflect toward the goaf. Since the roof rock strength of seams K₁₀ and K₁₂ (5.2 and 4.5, respectively) is substantially higher than that of the coal seams, bedding separation voids may form at coal-rock contacts during layer deflection. These voids become filled with methane desorbing from the unloaded coal seams [5]. This desorption process continues until a new equilibrium is established in the coal-methane dynamic system following cessation of movement and restoration of mining pressure.

During overmining, underlying rocks bend toward the goaf and separate at lithological contacts, forming voids that fill with methane from the fractured seam. When stresses exceed rock strength, fractures develop, creating pathways that connect to the goaf and lead to gas release into the workings.

Mathematical Model of Dynamic Subsidence Trough for Undermined Rock Layers

Analysis of the movement mechanisms in undermined and overmined coal seams has revealed that the most probable gas collectors, from the perspective of potential extraction from abandoned panels, include:

- bedding separation voids at coal-rock contacts located within the continuous bending zone (without loss of continuity) of the rock mass, positioned beneath the center of the extraction panel;
- boundary voids formed at the edges of extraction panels within the movement zone bounded by boundary and full subsidence angles;
- stopped development workings and other unfilled mine workings.

Consider a plane problem of rock mass movement in the vertical xOz plane, perpendicular to the longwall face and passing through its center. The longwall is oriented parallel to the Oy axis. The subsidence of point A in the upper half-plane is analyzed under conditions of full undermining and complete roof caving.

The longwall moves from point O along the x -axis at velocity v , reaching point C after time t , covering distance vt . Each extracted seam element causes a small surface subsidence, and total subsidence is the sum of all contributions. In Figure 3, segment Oa shows roof hanging over a stationary face, while bC shows hanging over the advancing face, corresponding to the horizontal displacement of the trough's inflection point relative to the extraction boundary or moving face.

The final subsidence value for a point located in the xOy plane can be determined according to Equation (1):

$$\eta(x, z) = \frac{2\eta_0}{L_z} \int_d^{vt-d} e^{-\frac{4\pi}{L_z^2}(\lambda-x)} \cdot \quad (1)$$

Performing variable substitution and integration using the Newton-Leibniz formula yields Equation (2):

$$\eta(x, z, t) = \frac{\eta_0}{2} \left\{ \Phi \left[\frac{5,013}{L_z} (vt - d - x) \right] - \Phi \left[\frac{5,013}{L_z} (d - x) \right] \right\}, \quad (2)$$

where η_0 is the maximum surface subsidence under full undermining (m);

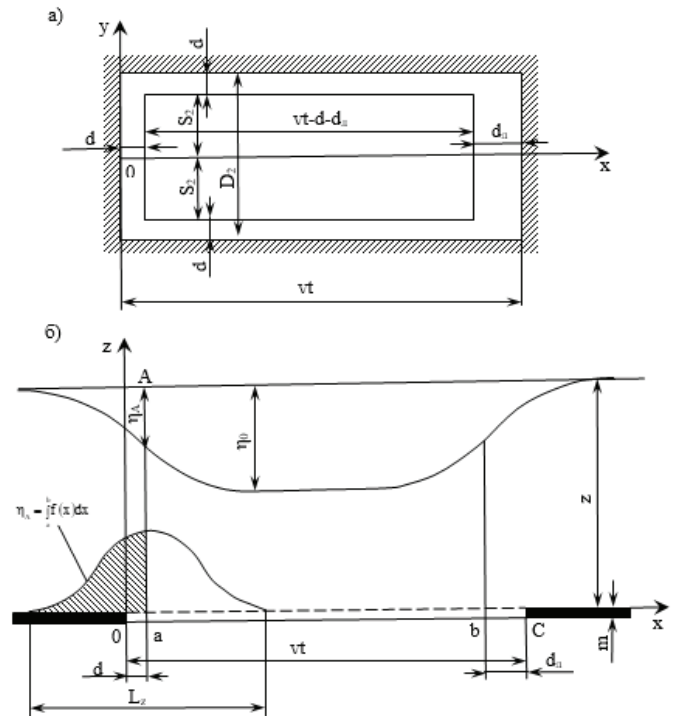
L_z is the half-length of the subsidence trough at horizon z (m);

x and y are coordinates of the point on the surface or within the rock mass where movement parameters are determined (m);

v is the longwall advance rate (m/month); t is the time at which the movement parameters at the point are evaluated (months; time zero corresponds to the start of the setup entry);

da is the main roof hanging at the advancing face over the extraction panel boundaries (m); d is the main roof hanging over the fixed boundary of the extraction panel (e. g., on the setup entry side) (m);

erf is the standard Gaussian error function [7].



a – plan view; b – vertical cross-section
a – жоспардағы көрініс; б – тік қима
a – вид в плане; б – вертикальный разрез

Figure 3. Schematic of dynamic subsidence trough formation.

Сурет 3. Динамикалық шөгү мұльдасының қалыптасу сызбасы.

Рис. 3. Схема формирования динамической мұльды оседания.

This expression represents the mathematical model of the dynamic subsidence trough formed on the Earth's surface or at horizon z at a given time instant. It enables determination of the subsidence magnitude at a point with coordinates x, y, z on the surface or within the rock mass at time t during longwall advance at velocity v .

Determination of Bedding Separation Volumes under Undermining Conditions

Assume that a longwall panel A_1B_1 has been extracted at depth H (Figure 4) (the problem is solved for gently dipping seam conditions). Full undermining occurs along the y -axis. It is known that main roof hanging occurs over the boundaries of the extraction panel, with the hanging magnitude d being a function of depth: $d = f(H)$, expressed according to Equation (3):

$$d = H \frac{ctq\psi - ctq\delta_0}{2}. \quad (3)$$

Since the surface movement zone along the principal cross-sections of the trough is bounded by boundary angles, the infinite limits in the latter expression can be replaced with finite ones. Thus, integration of Equation (3) is performed over the extraction boundaries extended by half the half-trough length, using the standard Gaussian integral function and

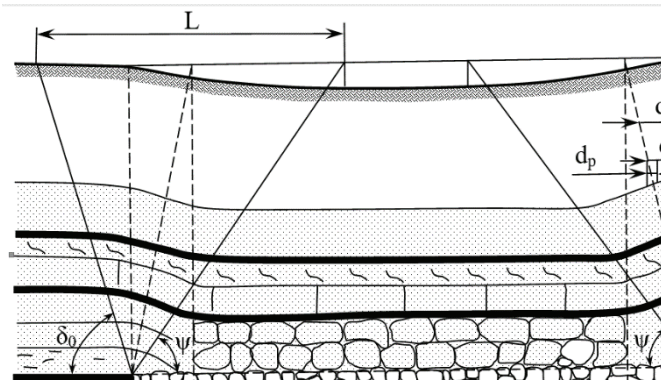


Figure 4. Schematic of bedding separation void formation above the boundaries of the longwall extraction panel.
Сурет 4. Ұзын лаваның өндіру панелі шекаралары үстінде қабатаралық қуыстардың қалыптасу сызбасы.

Рис. 4. Схема образования межслоевых пустот над границами очистной панели длинного забоя.

introducing boundary conditions S_l . After transformations, Equation (3) takes the form of Equation (4):

$$S_m = 2q_0 m S_l. \quad (4)$$

Consequently, the area of the surface subsidence trough (in vertical cross-section) equals twice the product of the relative surface subsidence factor, the extracted seam thickness, and the calculated half-length of the extraction panel.

At contacts between undermined layers of different physico-mechanical properties, when a stronger, thicker layer (e. g., sandstone) overlies a weaker one (e. g., argillite or coal interbed), the most favorable conditions arise for bedding separation void formation and gas filling. The sandstone layer exhibits greater hanging d_s than the weaker layer d_l . In other words, the inequality holds (5):

$$d_s > d_l. \quad (5)$$

The subsidence curve equation for the upper line of the weaker layer is written as Equation (6):

$$\eta(x)_u = \frac{q_0 m}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_1}{2} - d_c + x \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_1}{2} - d_l - x \right) \right] \right\}. \quad (6)$$

The subsidence curve equation for the lower line of the upper layer (sandstone) is written as Equation (7):

$$\eta(x)_l = \frac{q_0 m}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_1}{2} - d_n + x \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_1}{2} - d_s - x \right) \right] \right\}. \quad (7)$$

Since the hanging magnitude equals the horizontal displacement of the subsidence curve inflection point relative to the longwall face, and considering condition (5), it is evident

(Figure 4) that the curve described by Equation (6) is horizontally shifted relative to the curve in Equation (7) by the distance d_s between the upper and lower planes of the bedding separation void at the inflection point, calculated according to Equation (8):

$$d_{sep} = d_s - d_l. \quad (8)$$

The difference in subsidence is calculated according to Equation (9):

$$\eta(x)_u - \eta(x)_l = \eta(x)_{sep}, \quad (9)$$

where $\eta(x)_u$ is the subsidence of a point on the upper line of the weaker layer (m);

$\eta(x)_l$ is the subsidence of a point on the lower line of the sandstone layer (m);

$\Delta\eta(x)$ represents the vertical dimension of the void in a cross-section at distance z from the origin.

Substituting the values of $\eta(x)_u$ and $\eta(x)_l$ into Equation (9) yields Equation (10):

$$\eta(x)_p = \frac{q_0 m}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L_z} \left(\frac{D_1}{2} - d_c + x \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L_z} \left(\frac{D_1}{2} - d_l - x \right) \right] - \left[-\operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L_z} \left(\frac{D_1}{2} - d_n + x \right) \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L_z} \left(\frac{D_1}{2} - d_s - x \right) \right] \right] \right\} \quad (10)$$

From Equation (6) it follows that the shape of bedding separation voids is determined by the bending pattern of layers above the extraction panel boundaries. Graphical construction of subsidence curves for the two layers using Equations (6) and (7) outlines the bedding separation void contour and shows that it has an S-shaped form in vertical cross-section.

The spatial problem is reduced to determining the volume of bedding separation voids as the difference between the subsidence trough volume without roof hanging and the actual trough volume with hanging, according to Equation (11):

$$V_{sep} = V_{d=0} - V_{tr}, \quad (11)$$

where $V_{d=0}$ is the surface subsidence trough volume without hanging (m^3);

V_{tr} is the actual surface subsidence trough volume (m^3).

The subsidence trough volume without hanging can be represented as a double integral of the subsidence trough equation for the spatial problem according to Equation (12):

$$V_{d=0} = \frac{q_0 m}{4} \int_{-(\frac{D_1}{2} + \frac{L}{2})}^{\frac{D_1}{2} + \frac{L}{2}} \int_{-(\frac{D_1}{2} + \frac{L}{2})}^{\frac{D_1}{2} + \frac{L}{2}} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_1}{2} + x \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_1}{2} - x \right) \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_2}{2} + y \right) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} \left(\frac{D_2}{2} - y \right) \right] \right\} dx dy. \quad (12)$$

Performing integration of Equation (12) analogously to the plane problem yields the surface subsidence trough volume without hanging according to Equation (13):

$$V_{d=0} = q_0 m D_1 D_2, \quad (13)$$

i. e., the subsidence trough volume without hanging equals the extracted mineral volume multiplied by the relative surface subsidence factor, since not the entire extracted seam portion participates in rock movement, but a reduced portion accounting for hanging by magnitude d .

In this case, the actual subsidence trough volume is determined according to Equation (14):

$$V_{tr} = \frac{q_0 m}{4} \int_{-(S_1 + \frac{L}{2})}^{S_1 + \frac{L}{2}} \int_{-(S_1 + \frac{L}{2})}^{S_2 + \frac{L}{2}} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} (S_1 + x) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} (S_1 - x) \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} (S_2 + y) \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{5,013}{L} (S_2 - y) \right] \right\} dx dy. \quad (14)$$

After integration, Equation (15) is obtained:

$$V_{tr} = 4q_0 m S_1 S_2. \quad (15)$$

Taking into account Equations (11) and (15), the sought bedding separation volume is written according to Equation (16):

$$V_{tr} = 2q_0 m d (D_1 + D_2 + 2d). \quad (16)$$

The derived relationship shows that the volume of bedding separation voids formed in the rock mass at a stationary longwall face depends on the extraction panel dimensions, seam thickness, and main roof hanging magnitude. Under full undermining along the x - and y -axes, bedding separation voids are distributed along the perimeter of the extraction panel [8].

Performing integration analogously to the plane problem with respect to variable x , after variable substitution and imposition of boundary conditions, Equation (17) is obtained:

$$V_{tr} = 2q_0 m S_2 (vt + d_a - d). \quad (17)$$

To determine bedding separation void volume above the extraction panel with an advancing face, the surface subsidence trough volume without hanging is calculated by integrating Equation (5) along the x - and y -axes within the surface movement zone. The subsidence trough volume in this case is calculated according to Equation (18):

$$V_{d=0} = q_0 m v t D_2. \quad (18)$$

From Equations (17) and (18) it is evident that the surface subsidence trough volume above the advancing face is time-variable and depends on the geometric dimensions of the extracted space. The latter, besides longwall length, depend on face advance rate and time elapsed since setup entry excavation. Accordingly, bedding separation void volume must also be time-variable. Representing bedding separation void volume as the difference between two subsidence trough volumes (without hanging and with hanging) yields Equation (19):

$$V_{sep} = V_{d=0} - V_{tr} = \frac{q_0 m}{v t D_2} + 2S_2 (vt - d_a - d). \quad (19)$$

Since $2S_2 = D_2 - 2d$ (see Figure 4), V_p is expressed according to Equation (20):

$$V_{sep} = q_0 m (D_2 - 2d)(d_a + d) + 2dv t, \quad (20)$$

or according to Equation (21):

$$V_{sep} = \frac{2q_0 m}{S_2 (d_a + d)} + dv t. \quad (21)$$

Thus, bedding separation void volume depends on longwall length (size S_2), main roof hanging magnitudes, face position, and seam thickness [9]. Void volume for an advancing face increases over time due to progressive extension of extraction boundaries over gate roads (haulage and ventilation). Equation (21) enables a differentiated approach to establishing the spatial distribution of void volumes relative to extraction panel boundaries, namely:

$V_{dlf} = 2q_0 S_2 d_a$ – above the advancing longwall face (m^3);

$V_{dse} = 2q_0 S_2 d$ – above the setup entry (installation roadway) (m^3);

$V_{dd} = q_0 m dv t$ – above haulage and ventilation drift (m^3).

In the presence of numerous gas-bearing satellite seams, the void and bedding separation volumes considered in this section constitute powerful collectors into which gas migrates from unloaded coal seams.

Conclusion

The study of rock mass behavior during undermining and overmining of coal seams has demonstrated that the formation of methane collectors is primarily controlled by the creation of bedding separation voids, boundary voids, and residual workings within the rock mass. These structures represent the most significant sites for potential methane accumulation in abandoned and partially mined panels.

A dynamic mathematical approach was developed to describe the temporal evolution of the subsidence trough and associated void volumes. By employing Gaussian integral-based representations of vertical displacements, the model enables quantitative assessment of bedding separation volumes as functions of longwall advance, seam thickness, and main roof hanging magnitudes. This methodology provides a robust framework for estimating the spatial distribution and capacity of methane collectors under complex mining conditions.

The results indicate that void formation and methane accumulation are highly sensitive to both the geometry of extraction panels and the dynamics of mining operations. In particular, the time-dependent advancement of the longwall face significantly influences the development and enlargement of voids, emphasizing the necessity of incorporating dynamic factors in planning methane recovery strategies.

Overall, the proposed approach bridges theoretical modeling of rock mass deformation with practical applications in methane resource management, offering a scientifically grounded basis for predicting gas storage capacity, optimizing extraction from abandoned panels, and ensuring safe and efficient utilization of coal mine methane.

Acknowledgements

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant № AP26198307).

REFERENCES

1. *Dinamika gazovydeleniya pri razrabotke sblyzhennykh vysokogazonosnykh ugol'nykh plastov [Dynamics of Gas Release in Highly Gassy Close-Spaced Coal Seam Mining]* M. S. Usenbekov et al. *Mining Journal [Gornyi Zhurnal]*. – 2023. – No. 3. – P. 60–66 (in Russian)
2. *Dinamika metanovydeleniya pri vedenii gornyx rabot v zonakh geologicheskikh narushenii [Methane Emission Dynamics in Mining in Zones of Geological Faults]* M. S. Usenbekov et al. *Mining Informational and Analytical Bulletin [Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten']*. – 2022. – No. 12. – P. 141–151 (in Russian)
3. *Effektivnaya tekhnologiya bureniya operezhayushchikh degazatsionnykh skvazhin v vybrosoopasnykh ugol'nykh plastakh [Effective Technology for Drilling Advance Methane Drainage Boreholes in Outburst-Prone Coal Beds]* T. K. Isabek et al. *Coal [Ugol']*. – 2021. – No. 6. – P. 11–14 (in Russian)
4. *Otsenka effektivnosti bureniya razgruzochnykh skvazhin v zonakh povyshennykh napryazhenii dlya degazatsii ugol'nykh plastov [Efficiency Assessment of Relief Hole Drilling in Areas of High Stresses to Release Methane from Coal Beds]* S. B. Aliev et al. *Coal [Ugol']*. – 2020. – No. 11. – P. 10–12 (in Russian)
5. *Modelirovanie vybrosoopasnogo sostoyaniya massiva s diz'yunktivnym narusheniem pri vedenii gornyx rabot metodom konechnykh elementov [Modeling the Outburst State of an Array with Disjunctive Disruption and Mining Using the Finite Element Method]* T. K. Isabek et al. *Coal [Ugol']*. – 2020. – No. 6. – P. 55–61 (in Russian)
6. *Mekhanika sdvizheniya i razrusheniya gornyx porod [Mechanics of rock mass movement and failure]* / Viktorov S. D., Goncharov S. A., Iofis M. A., Zakalinskii V. M. et al. Moscow: Rossiiskaya akademiya nauk, Institut kompleksnogo osvoeniya neдр imeni akademika N. V. Melnikova, 2019. – 360 p. (in Russian)
7. *Study of rational solution parameters during in-situ uranium leaching* / Sh. Alikulov et al. // *Mining of Mineral Deposits*. – 2025. – Vol. 19. – No. 1. – P. 37–46 (in English)
8. *Issledovanie tekhnologii krepleniya gornyx vyrabotok v zonakh povyshennogo gornogo davleniya pozadi ochistnogo zaboya dlya obespecheniya bezopasnogo vedeniya gornyx rabot' [Research into Mine Working Fastening Technology in the Zones of Increased Rock Pressure Behind the Longwall Face to Ensure Safe Mining Operations]* V. Demin et al. *Razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh [Mining of Mineral Deposits]*. – 2024. – Vol. 18. – No. 1. – P. 27–36 (in Russian)
9. *Evaluation of wear of gas-flame and ion-plasma sealing coatings with 0.3% yttrium under thermomechanical loading conditions* / Y. O. Fasol et al. *Material and Mechanical Engineering Technology*. – 2025. – No. 4. – P. 9–11 (in English)
10. *A comprehensive review of shale wettability characterization: mechanisms, measurements and influencing factors* / B. Jia et al. // *Capillarity*. – 2025. – Vol. 17. – No. 2. – P. 38–53 (in English)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Газдылығы жоғары жақын орналасқан көмір қабаттарын өндіру кезіндегі газ бөліну динамикасы / М. С. Усенбеков [және т. б.] // *Тау-кен журналы*. – 2023. – № 3. – Б. 60–66 (орыс тілінде)
2. Геологиялық бұзылым аймақтарында кен өндіру кезіндегі метан бөліну динамикасы / М. С. Усенбеков [және т. б.] // *Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетені*. – 2022. – № 12. – Б. 141–151 (орыс тілінде)
3. Кенеттен атқылауға қауіпті көмір қабаттарында алдын ала дегазациялық ұңғымаларды бұрғылаудың тиімді технологиясы / Т. Қ. Исабек [және т. б.] // *Көмір*. – 2021. – № 6. – Б. 11–14 (орыс тілінде)
4. Жоғары кернеулі аймақтарда көмір қабаттарынан метанды шығару үшін босату ұңғымаларын бұрғылау тиімділігін бағалау / С. Б. Алиев [және т. б.] // *Көмір*. – 2020. – № 11. – Б. 10–12 (орыс тілінде)
5. Дизъюнктивті бұзылыстары бар массивтің газдинамикалық күйін соңғы элементтер әдісімен модельдеу / Т. Қ. Исабек [және т. б.] // *Көмір*. – 2020. – № 6. – Б. 55–61. (орыс тілінде)
6. *Тау жыныстары массивінің қозғалысы мен бұзылу механикасы* / Викторов С. Д., Гончаров С. А., Иофис М. А. [және т. б.]. – Мәскеу: Ресей ғылым академиясы, Н. В. Мельников атындағы Жер қойнауын кешенді игеру институты, 2019. – 360 б. (орыс тілінде)
7. *Жерасты уранды шаймалау кезінде рационалды ерітінді параметрлерін зерттеу* / Sh. Alikulov [және т. б.] // *Mining of Mineral Deposits*. – 2025. – Т. 19. – № 1. – Б. 37–46 (ағылшын тілінде)
8. *Қауіпсіз тау-кен жұмыстарын қамтамасыз ету мақсатында лава артындағы жоғары тау қысымы аймақтарында тау-кен қазбаларын бекіту технологиясын зерттеу* / В. Демин [және т. б.] // *Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру*. – 2024. – Т. 18. – № 1. – Б. 27–36 (орыс тілінде)
9. *Құрамында 0,3 % иттрийі бар газ-жалынды және иондық-плазмалық тығыздағыш жабындардың термомеханикалық жүктемелер жағдайындағы тозуын бағалау* / Y. O. Fasol [және т. б.] // *Material and Mechanical Engineering Technology*. – 2025. – № 4. – Б. 9–11 (ағылшын тілінде)

10. Сланец жыныстарының суланғыштығын сипаттаудың кешенді шолуы: механизмдері, өлшеу әдістері және әсер етуші факторлар / В. Жа [және т. б.] // *Capillarity*. – 2025. – Т. 17. – № 2. – С. 38–53 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Динамика газовыделения при отработке сближенных высокогазоносных угольных пластов / М. С. Усенбеков [и др.] // *Горный журнал*. – 2023. – № 3. – С. 60–66 (на русском языке)
2. Динамика метановыделения при ведении горных работ в зонах геологических нарушений / М. С. Усенбеков [и др.] // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – № 12. – С. 141–151 (на русском языке)
3. Эффективная технология бурения опережающих дегазационных скважин в выбросоопасных угольных пластах / Т. К. Исабек [и др.] // *Уголь*. – 2021. – № 6. – С. 11–14 (на русском языке)
4. Оценка эффективности бурения разгрузочных скважин в зонах повышенных напряжений для дегазации угольных пластов / С. Б. Алиев [и др.] // *Уголь*. – 2020. – № 11. – С. 10–12 (на русском языке)
5. Моделирование выбросоопасного состояния массива с дизъюнктивным нарушением при ведении горных работ методом конечных элементов / Т. К. Исабек [и др.] // *Уголь*. – 2020. – № 6. – С. 55–61 (на русском языке)
6. Механика движения и разрушения массива горных пород / Викторов С. Д., Гончаров С. А., Иофис М. А. [и др.]. – М.: Российская академия наук, Институт комплексного освоения недр им. Н. В. Мельникова, 2019. – 360 с. (на русском языке)
7. Исследование рациональных параметров раствора при подземном скважинном выщелачивании урана / Sh. Alikulov [и др.] // *Mining of Mineral Deposits*. – 2025. – Т. 19. – № 1. – С. 37–46 (на английском языке)
8. Исследование технологии крепления горных выработок в зонах повышенного горного давления позади очистного забоя для обеспечения безопасного ведения горных работ / В. Демин [и др.] // *Разработка месторождений полезных ископаемых*. – 2024. – Т. 18. – № 1. – С. 27–36 (на русском языке)
9. Оценка износа газопламенных и ионно-плазменных герметизирующих покрытий с содержанием 0,3 % иттрия в условиях термомеханического нагружения / Y. O. Fasol [и др.] // *Material and Mechanical Engineering Technology*. – 2025. – № 4. – С. 9–11 (на английском языке)
10. Комплексный обзор методов характеристики смачиваемости сланцев: механизмы, методы измерения и влияющие факторы / В. Жа [и др.] // *Capillarity*. – 2025. – Т. 17. – № 2. – С. 38–53 (на английском языке)

Information about the authors:

Isabek T. K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Researcher of the Department of Mineral Deposit Development, NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), t.isabek@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-7718-933X>

Usenbekov M. S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mineral Deposit Development, NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), m.usenbekov@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-4209-3853>

Khamze A. M., Master of Technical Sciences, Doctoral student of the GDD-25-1 group of the Department of Mineral Deposit Development, NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), a.khamze@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-7170-8438>

Abdiev A. R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Scientific and Technical Center named after Prof. Sh. A. Mambetov «Geoquantum» at Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (Bishkek, Kyrgyzstan), abdiev_arstan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3409-5717>

Авторлар туралы мәліметтер:

Исабек Т. К., техникалық ғылымдарының докторы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының профессор-зерттеушісі, КЕАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Усенбеков М. С., техникалық ғылымдарының кандидаты, доцент, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының қауымдастырылған-профессоры, КЕАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Хамзе А. М., техникалық ғылымдарының магистрі, ГДД-25-1 тобының докторанты, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасы, КЕАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Абдиев А. Р., техника ғылымдарының докторы, профессор, Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті ат. И. Раззаков жанындағы профессор Ш. А. Мамбетов атындағы «Геокуантум» ғылыми-техникалық орталығының директоры (Бішкек қ., Қырғызстан)

Сведения об авторах:

Исабек Т. К., доктор техн. наук, профессор исследователь кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Усенбеков М. С., кандидат техн. наук, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Хамзе А. М., магистр техн. наук, докторант группы ГДД-25-1 кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Абдиев А. Р., доктор техн. наук, профессор, директор Научно-технического центра им. проф. Ш. А. Мамбетова «Геокуантум» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (г. Бишкек, Кыргызстан)

Код МРНТИ 36.23.31

Н. Ф. Низаметдинов¹, А. Б. Рахатова², З. Ж. Маматкулов³, *М. Б. Игемберлина¹¹НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина»

(г. Астана, Казахстан),

³Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

(г. Ташкент, Узбекистан)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ ДАМБ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Аннотация. В статье представлен практический опыт использования автоматизированной системы геомониторинга за деформационными процессами насыпных оградительных дамб Николаевской обогатительной фабрики. Оценка пространственного положения сооружений реализуется посредством высокоточного отслеживания координат контрольных реперов, оснащенных оптическими отражателями, установленные по профильным линиям в теле дамбы. В качестве измерительных станций выступают опорные пилоны, на которых установлены роботизированные электронные тахеометры. Математическая обработка результатов смещений тела получаемого массива данных осуществляется в программной среде Leica GeoMoS. На основе полученных эмпирических данных подтверждается сохранение устойчивости и общей эксплуатационной надежности ограждающих дамб обогатительной фабрики.

Ключевые слова: насыпная дамба, автоматизированный геомониторинг, деформационная марка, опорный пилон, роботизированный тахеометр, сравнительный анализ, пространственные смещения, программное обеспечение GeoMoS.

Аспаптық бақылау негізінде байыту фабрикаларының қоршау бөгеттерінің жағдайын бағалау

Аннотация. Мақалада Николаев байыту фабрикасының үйінді қоршау бөгеттерінің деформациялық процестеріне арналған автоматтандырылған геомониторинг жүйесін қолданудың практикалық тәжірибесі келтірілген. Құрылыстардың кеңістіктік жағдайын бағалау бөгет денесінде бейінді сызықтар бойынша орнатылған оптикалық шағылыстырғыштармен жабдықталған бақылау реперлерінің координаттарын жоғары дәлдікпен қадағалау арқылы іске асырылады. Өлшеу станциялары роботталған электронды тахеометрлер орнатылған тірек пилондары болып табылады. Алынған мәліметтер массивінің дене жылжулары нәтижелерін математикалық өңдеу Leica GeoMoS бағдарламалық ортасында жүзеге асырылады. Алынған эмпирикалық деректер негізінде байыту фабрикасының қоршау бөгеттерінің тұрақтылығы мен жалпы пайдалану сенімділігінің сақталуы расталады.

Түйінді сөздер: үйінді бөгеті, автоматтандырылған геомониторинг, деформациялық маркасы, тірек пилон, роботталған тахеометр, салыстырмалы талдау, кеңістіктік жылжулар, GeoMoS бағдарламалық қамтамасыз ету.

Assessment of the condition of the enclosing dams of processing plants based on instrumental control

Abstract. The article presents the practical experience of using an automated geomonitoring system for the deformation processes of bulk barrier dams of the Nikolaevskaya processing plant. The spatial position of the structures is estimated by means of high-precision tracking of the coordinates of control reference points equipped with optical reflectors installed along profile lines in the body of the dam. The measuring stations are support pylons on which robotic electronic total stations are installed. Mathematical processing of the results of body displacements of the received data array is carried out in the Leica GeoMoS software environment. Based on the empirical data obtained, the preservation of the stability and overall operational reliability of the enclosing dams of the enrichment plant is confirmed.

Key words: bulk dam, automated geomonitoring, deformation mark, support pylon, robotic total station, comparative analysis, spatial displacements, GeoMoS software.

Введение

Обеспечение эксплуатационной надежности и экологической безопасности оградительных дамб хвостохранилищ горнодобывающих предприятий требует непрерывного геомеханического контроля. Первоначальные инженерно-геологические расчеты устойчивости откосных сооружений нуждаются в обязательном фактическом подтверждении посредством высокоточных геодезических наблюдений, позволяющих своевременно локализовать ослабленные участки основания и тела дамбы [1].

По результатам предыдущих исследований выполненный комплексный пространственно-временной анализ результатов инструментальных измерений, полученный автоматизированной системой за эксплуатационный период, позволяет не только оценить деформирования откосов дамбы и проверить первоначальные проектные решения, но и выполнить достоверный прогноз развития смещений. Выявление характера деформационных процессов до момента достижения ими критических значений предоставляет возможность своевременно разработать комплекс мер по стабилизации дамбы.

Целью настоящей работы является переход от этапа конструирования и внедрения наблюдательной сети к пространственно-временному анализу. Исследование на-

правлено на комплексное сравнение сдвижений и деформаций тела дамбы за период с 2023 по 2026 годы. Пространственно-временной анализ накопленных данных позволяет не только оценить текущую динамику сдвижения тела дамбы, но и спрогнозировать дальнейший тренд геомеханического поведения дамбы. Выявление деформационных процессов до момента достижения им критических значений предоставляет возможность своевременно разработать и внедрить инженерные мероприятия по стабилизации локальных участков оградительной дамбы [2, 3, 4].

Методы исследований

Методика автоматизированного инструментального контроля заключается в непрерывном сборе электронным тахеометром и дистанционной передаче, а затем анализе геотехнических и экологических данных в режиме реального времени с использованием современных технологий, специализированных программ наблюдений и дистанционного зондирования, что позволяет выявлять скрытые угрозы [5].

Суть реализованной методики сводится к последовательной реализации следующего комплекса измерительных-аналитических процедур:

- пространственно-координатная фиксация положения заложенных реперов с периодической высокоточной регистрации трехмерных координат (X, Y, H) сети контрольных деформационных реперов на теле оградительной дамбы по заложенным профильным линиям перпендикулярно простирацию откоса;
- обеспечение стабильного базиса со строгой привязкой всех измерительных серий к абсолютно неподвижной опорной геодезической сети (пилонам), вынесенной за контуры зон потенциальных смещений грунтового массива;
- автоматизация измерительного процесса с использованием роботизированных электронных тахеометров для дистанционного сбора эмпирических данных в автоматическом режиме согласно заданному временному регламенту;
- компенсация влияния среды, повышение точности работы дальномера за счет систематического учета текущих атмосферных условий (температуры, влажности и давления) для повышения точности работы дальномера и внесения соответствующих математических поправок перед каждой серией наблюдений;
- геокинематический анализ путем математического сопоставления пространственных координат текущих эпох наблюдения с исходным (нулевым) циклом для вычисления векторов абсолютных и относительных смещений, а также определения скоростей деформирования тела дамбы.

Надежное прогнозирование состояния откосов тел дамб предлагается осуществлять путем внедрения системы автоматизированного контроля, основанной на использовании роботизированного электронного тахеометра, установленного на стационарном пилоне в специальном контейнере, расположенном вне зоны возможных деформаций, и рабочих металлических реперов с оптическими мониторинговыми отражателями, заложенными непосредственно в теле дамбы на наиболее опасных направлениях возможного деформирования [5].

На Николаевской дамбе наблюдения ведутся по десяти профильным линиям с наличием сорока металлических реперов с оптическими отражателями с каждой стороны (восточной – 40 шт. и западной – 40 шт.) и по одному ориентирному пилону с оптическим отражателем с восточной и западной стороны [5].

Автоматизированная система мониторинга оградительных дамб хвостохранилища состоит из двух опорных пилонов с роботизированными электронными тахеометрами, двух ориентирных пилонов с круглыми призмами, сорока мониторинговых реперов с призмами и одного центра управления.

Для организации инструментальных наблюдений на оградительных дамбах хвостохранилища, опираясь на передовые международные стандарты и руководства по геомеханическому мониторингу объектов размещения отходов обогащения [6], необходимо выполнить следующее:

- выбрать потенциально неустойчивые или оползневые участки на основе анализа инженерно-геологических и горнотехнических условий разработки для определения мест закладки реперов профильных линий;
- разработать проекты наблюдательных станций за деформациями откосов бортов карьеров и отвалов;

- вынести проекты наблюдательных станций в натуру и заложить репера;
- осуществить привязку исходных и опорных реперов (определение координат X, Y, Z) к ближайшим пунктам маркшейдерской опорной геодезической сети;
- произвести инструментальные наблюдения по реперам профильных линий наблюдательных станций;
- осуществить обработку результатов инструментальных наблюдений и произвести их анализ [7].

Опорный пункт № 2 располагается у основания южной части оградительной дамбы хвостохранилища (рис. 1).

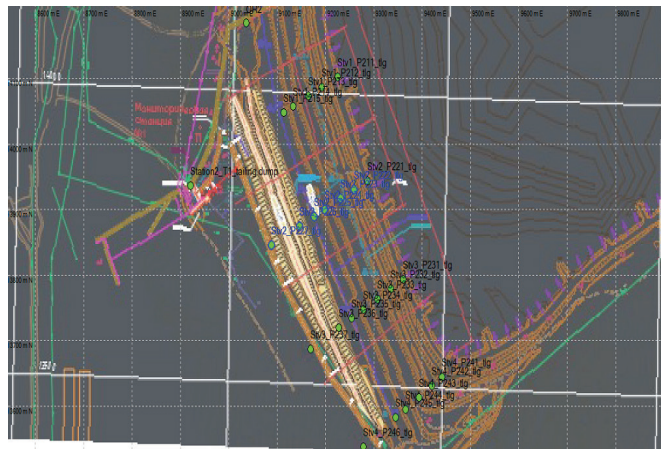


Рис. 1. Схема мониторинга автоматизированной системы GeoMoS на Николаевской дамбе.

Сурет 1. Николаев бөгетіндегі GeoMoS автоматтандырылған жүйесінің мониторингтік схемасы.

Figure 1. Automated system monitoring scheme GeoMoS at Nikolaevskaya dam.

С мониторинговой станции № 2 планируется вести наблюдения по профильным линиям № 6–9 с использованием высокоточного электронного тахеометра, установленного на твердом пункте Station2_T1, помещенного в мониторинговую кабину. Ориентирный пункт № 2 для электронного тахеометра находится на расстоянии 200 метров в прямой видимости и является пунктом OR2. Призмы устанавливаются на бермах по профильным линиям в количестве 25 штук, максимальная дальность измерений 700 метров [8, 9].

Данная система наблюдений позволит дать качественную и полную оценку состояния устойчивости откосов хвостохранилища и вовремя наметить мероприятия по устранению причин развития деформаций [10]. Система передачи данных измерительного комплекса обеспечивает возможность удаленного управления контрольно-измерительной аппаратурой в автономном режиме, вне зависимости от пространственной удаленности узла обработки данных (рис. 2).

Функционирование системы по заданным алгоритмам не только гарантирует высокую оперативность проведения измерительных серий, но и полностью нивелирует погрешности, обусловленные субъективным (человеческим) фактором. Промежутки между циклами измерений могут составлять от нескольких минут или часов. Систематиче-



Рис. 2. Автоматизированная система с мониторинговой кабиной и ПО GeoMos.

Сурет 2. Мониторингтік кабинасы және GeoMos БҚ бар автоматтандырылған жүйе.

Figure 2. Automated system with monitoring cabin and GeoMos software.

ская актуализация пространственных параметров дамбы формирует надежную аналитическую базу для высокоточного прогнозирования его геомеханического состояния, что является критически важным инструментом для предотвращения возможных аварийных ситуаций [10, 11]. Информационно-вычислительным ядром системы выступает специализированное программное обеспечение, состоящее из двух ключевых сегментов: модуль автоматизированной регистрации эмпирических данных и подсистему их последующей математической обработки [12].

Аналитической обработке может подвергаться как весь массив накопленной измерительной информации, так и отдельные их сегменты, выделенные за определенные хронологические периоды. Использование данных наблюдений, сформированных в ходе геомониторинга, позволяет с высокой точностью идентифицировать как краткосрочные деформационные сдвиги, так и кинематические тренды. Результаты подобного комплексного анализа служат надежной основой для объективной оценки текущего эксплуатационного состояния оградительной дамбы и разработки прогнозной модели ее геомеханического поведения. Дополнительным преимуществом автоматизированного комплекса является функция непрерывного контроля безопасности: непосредственно в процессе сбора информации система способна в режиме реального времени заранее предупреждать о критических смещениях контрольных реперов [12].

Математическая обработка, а также накопление и объединение данных осуществляются с помощью ПО GeoMos. Данная среда позволяет наглядно визуализировать полученные значения, выстраивая графики продольных, поперечных и вертикальных сдвижений, а также формируя значения планово-высотных смещений.

Результаты

На основе сопоставления результатов инструментальных наблюдений за период 2023–2026 гг. выполнен анализ

динамики пространственных смещений. Необходимо подчеркнуть, что для построения графиков использовались репера, которые изображены на рис. 2 по участку профиля № 2. Графическая интерпретация вычисленных скоростей смещений для этих реперов представлена на рис. 3, 4, 5.

На рис. 3 представлен график продольных смещений (*Longitudinal Displacement*) деформационных реперов (Stv2_P222_tlg – Stv2_P227_tlg), установленных в теле насыпной дамбы. Данные получены на основе непрерывного автоматизированного мониторинга в ПО Leica GeoMos и охватывают период наблюдений с апреля 2023 года по февраль 2026 года. Представленные временные ряды прошли процедуру сглаживания (*smoothed*) для фильтрации аппаратного шума и выделения полезного сигнала.

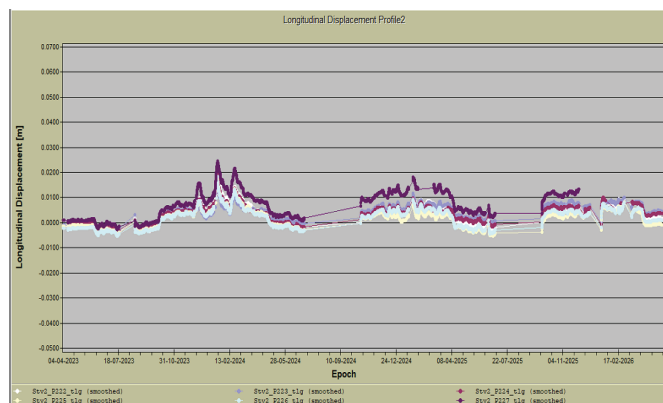


Рис. 3. График величин продольных смещений деформационных реперов на дамбе.

Сурет 3. Бөгеттегі деформациялық реперлердің бойлық жылжулар шамаларының графигі.

Figure 3. Graph of the longitudinal displacements of the deformation reference points on the dam.

При этом анализ графиков демонстрирует высокую степень корреляции в поведении всех наблюдаемых реперов. Синхронность колебаний свидетельствует о том, что рассматриваемый участок насыпной дамбы испытывает комплексные, системные деформации тела насыпи, а не локальные сдвиги отдельных элементов. Наблюдается ярко выраженный циклический характер смещений тела дамбы, который напрямую коррелирует с сезонными факторами. Особый интерес представляет сравнение деформационных циклов за 2024 и 2025 годы:

- цикл 2024 года: в первой половине года (февраль – апрель) зафиксирован абсолютный максимум продольных смещений за весь период наблюдений, где наибольшие значения демонстрирует репер Stv2_P227_tlg, достигнув пиковой отметки порядка 0.025 м (25 мм);

- цикл 2025 года: в аналогичный весенний период 2025 года также наблюдается повышение значений смещений (до 0.015 – 0.018 м), однако амплитуда смещений заметно ниже по сравнению с 2024 годом. Данное снижение амплитуды может свидетельствовать о продолжающемся процессе уплотнения грунтов насыпи, либо о различиях в эксплуатационных нагрузках на тело дамбы в эти годы.

Отмечается четкая неравномерность величин смещений между различными реперами:

- репер *Stv2_P227_tlg* стабильно показывает наибольшую амплитуду деформаций, указывающую на расположение зоны максимального динамического воздействия (вероятно, в центральной части гребня или в зоне максимальной мощности насыпи);

- реперы *Stv2_P222_tlg* и *Stv2_P226_tlg* демонстрируют минимальные отклонения, колеблющиеся в пределах от -0.005 м до 0.010 м, что характерно для более стабильных участков дамбы, таких как примыкания к приоткасной зоне дамбы.

Накопления прогрессирующих пластических (необратимых) деформаций, способных привести к нарушению общей устойчивости дамбы, за анализируемый период не выявлено. Состояние насыпной дамбы в зоне контроля профиля можно охарактеризовать как стабильно-рабочее.

Наряду с анализом продольных смещений, комплексная оценка состояния дамбы требует рассмотрения динамики высотных деформаций (осадок). На следующем графике представлены аналогичный период наблюдений вертикальных смещений (*Height Displacement*) для той же группы марок профиля № 2 (*Stv2-P222-tlg – Stv2-P227-tlg*) (рис. 4).

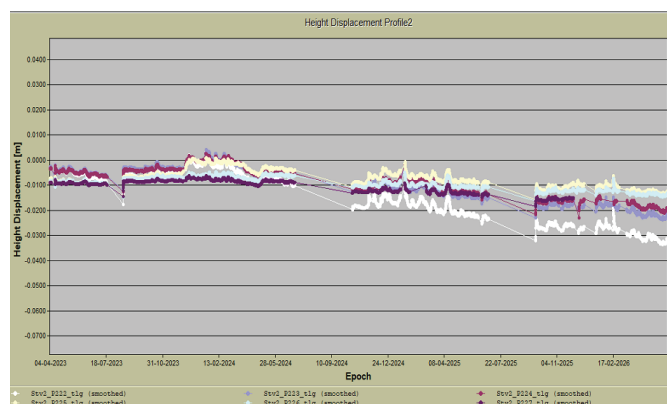


Рис. 4. График оседаний деформационных реперов.
Сурет 4. Деформациялық реперлердің шөгуге графигі.
Figure 4. Graph of subsidence of deformation reference points.

График высотных деформаций (оседаний) демонстрирует четкий долгосрочный тренд, направленный в отрицательную область. Это является отражением процесса уплотнения грунтов в теле дамбы. В начальном периоде наблюдений до середины 2024 года, осадки были относительно стабильны. В весенний период 2024 года, синхронно с зафиксированным ранее пиком продольных смещений, на графике оседаний отмечается локальное «подняtie» реперов, который показывает отметку до $+0.005$ м. Указанный эффект объясняется паводковым гидростатическим подпором либо морозным пучением грунта. Однако со второй половины 2024 по 2025 год влияние сезонных факторов нивелируется, и фиксируется стабильная равномерная осадка всех контрольных марок.

В период 2025–2026 гг. выявлена пространственная неравномерность высотных деформаций. Если основная группа марок, включая *Stv2-P227-tlg*, стабилизировалась на отметках от -0.010 до -0.020 м, то осадка репера *Stv2-P222-tlg* достигла максимума -0.03 – -0.035 м. Это указывает на локальную сжимаемость грунтов или повышенную статическую нагрузку в зоне его установки. Зафиксированный перепад высот в 0.015 – 0.02 м является допустимым на текущем этапе эксплуатации и подтверждает уплотнение массива. Тем не менее, для контроля перераспределения внутренних напряжений необходим дальнейший непрерывный мониторинг сооружения.

Для объективной оценки и получения полной картины пространственно-деформационного состояния дамбы рассмотрены поперечные смещения (*Transverse Displacement*), их динамика отражена на графике 3 (рис. 5).

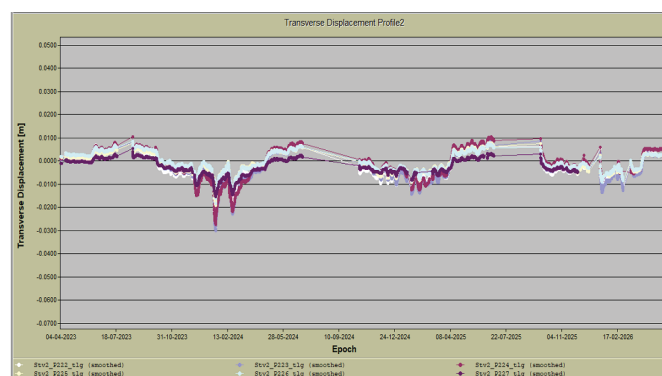


Рис. 5. График поперечных смещений деформационных реперов.
Сурет 5. Деформациялық реперлердің көлденең жылжулар графигі.
Figure 5. Graph of transverse displacements of deformation reference points.

График поперечных смещений, так же, как и график продольных (рис. 3) демонстрирует ярко выраженный циклический характер, зависящий от сезонных факторов. Однако амплитуда и направленность этих движений имеют свои особенности.

Пиковые нагрузки 2024 года: в зимне-весенний период 2024 года (январь – март) наблюдается резкое отклонение марок в отрицательную область. Максимальные значения фиксируются у реперов *Stv2_P223_tlg* и *Stv2_P224_tlg*, достигая отметки -0.030 м (30 мм). Важно отметить, что этот всплеск поперечных смещений совпадает по времени с максимумом продольных деформаций (до 25 мм), зафиксированным на первом графике (рис. 3). Это свидетельствует о том, что в данный период тело дамбы испытало наибольшее пространственное (диагональное) смещение, вероятнее всего, под воздействием максимального давления со стороны хвостохранилища.

Снижение активности в 2025 году: в аналогичный сезон 2025 года поперечные смещения также уходят в отрицательную зону, однако их максимальная амплитуда снижается ровно в два раза – до -0.015 м (15 мм). Эта тенденция полностью зеркально отражает поведение продольных

смещений, где в 2025 году также наблюдалось снижение деформационной активности.

В летне-осенний периоды графики поперечных смещений возвращаются к околонулевым или слабоположительным отметкам (до +0,010 м), что подтверждает упругий характер работы сооружения в горизонтальной плоскости.

Заключение

На основе трехлетнего мониторинга продольных, поперечных и высотных деформаций сделаны следующие выводы о состоянии насыпной дамбы по профильной линии № 2:

- разделение деформационных процессов: поведение насыпной дамбы определяется двумя факторами. Первый – постоянная вертикальная осадка вследствие естественного уплотнения грунтов. Второй – упругие горизонтальные смещения (продольные и поперечные), имеющие сезонный характер и зависящие от уровня воды в хвостохранилище и перепадов температур;

- сравнительная оценка периодов наблюдения: 2024 год характеризовался наибольшими динамическими воздействиями. Весной зафиксированы максимумы продольных (до 0,025 м) и поперечных (до -0,030 м) смещений при локальном замедлении процесса консолидации грунта. В 2025 году горизонтальные смещения стабилизировались (амплитуда снизилась почти в два раза) на фоне равномерного уплотнения отсыпанных пород;

- неравномерность распределения нагрузок: комплексный мониторинг выявил, что различные участки профиля по-разному реагируют на нагрузки. Реперы центральной группы (P223, P224, P227) наиболее подвержены сезонным горизонтальным сдвигам (продольным и поперечным). В то же время репер P222 выделяется наибольшей интенсивностью вертикальной усадки отсыпных пород (до -35 мм к 2026 году);

- оценка устойчивости дамбы: несмотря на зафиксированные колебания и локальные отклонения в высотных смещениях отдельных реперов, деформации носят прогнозируемый и преимущественно затухающий характер. Накопления критических, необратимых сдвигов, способных привести к разрушению тела дамбы, за анализируемый период с 2023 по 2026 год, не выявлено. Оградительная дамба функционирует в штатном режиме, однако выявленная специфика осадки отдельных реперов (в частности, P222) требует продолжения непрерывных автоматизированных геодезических наблюдений.

Выводы

Совместный анализ трех компонентов смещений (продольных, высотных и поперечных) позволяет сделать следующие обоснованные выводы о состоянии насыпной дамбы на участке профиля № 2:

1. Совместный анализ смещений выделил два физических процесса в теле дамбы: постоянную вертикальную усадку (уплотнение отсыпанных пород) и сезонные упругие горизонтальные колебания, интенсивность которых напрямую зависит от изменения уровня воды в хвостохранилище и перепадов температур. Согласно сравнительной оценке, максимум динамических нагрузок на сооружение зафиксирован весной 2024 года: пиковые горизонтальные сдвиги (до 0,025 м продольно и -0,030 м поперечно) сопровождались замедлением усадки и к 2025 году процесс стабилизировался, показав, что горизонтальные смещения уменьшились в два раза при равномерном уплотнении массива.

2. В ходе исследования установлена выраженная пространственная неравномерность распределения деформационных нагрузок. Наибольшая чувствительность к сезонным колебаниям характерна для контрольных марок центральной группы (P223, P224, P227), тогда как максимальная интенсивность вертикальной осадки локализована в зоне репера P222, где значения к 2026 году достигли отметки -0,035 м.

Резюмируя полученные данные, можно утверждать, что зафиксированные деформации носят прогнозируемый и преимущественно затухающий характер. Аккумуляции критических, необратимых сдвигов, способных спровоцировать разрушение тела дамбы, за весь анализируемый период не выявлено. В настоящее время оградительная дамба сохраняет общую эксплуатационную надежность и функционирует в штатном режиме. Вместе с тем, выявленная специфика геомеханического поведения локальных участков (в частности, аномалии осадки марки P222) подтверждает абсолютную необходимость продолжения непрерывного автоматизированного геомониторинга для своевременной разработки предупредительных инженерных мероприятий.

Благодарность

Авторы выражают благодарность сотрудникам ТОО «Геобизнес» и профессорско-преподавательскому составу кафедры МДиГ НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» за помощь и советы по написанию данной статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Низаметдинов Ф. К., Долгоносков В. Н., Бесимбаева О. Г. Устойчивость насыпных дамб и гидротехнических сооружений. – Караганда: КарГТУ, 2013. – 208 с. (на русском языке)
2. Построение зависимостей параметров предельного откоса дамб хвостохранилищ МОФ АГМК при помощи программного обеспечения / С. С. Сайидкасимов [и др.] // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – № 4 (83). – С. 78–82 (на русском языке)
3. Инструментальный контроль устойчивости рудных отвалов на площадке кучного выщелачивания / Ф. К. Низаметдинов [и др.] // Горный журнал. – 2022. – № 2. – С. 19–23 (на русском языке)
4. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Утв. Комитетом по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан № 39 от 22 сентября 2008 г. – 75 с. (на русском языке)

5. Дистанционный надзор за состоянием устойчивости оградительных дамб обогатительных фабрик / Н. Ф. Низаметдинов [и др.] // Горный журнал Казахстана. – 2024. – № 3 (227). – С. 17–23 (на русском языке)
6. Обзор руководящих принципов и систем мониторинга безопасности хвостохранилищ / Masoud Zare [и др.] // (MDPI) Minerals. – 2024. – № 14. – С. 1–28 (на английском языке)
7. Система мониторинга стабильности хвостохранилища с использованием передовых методов анализа больших данных на примере объекта «Железный Мост» / Wioletta Koperska [и др.] // Archives of Civil Engineering. – 2022. – Т. 68 (2). – С. 297–311 (на английском языке)
8. Система автоматизированного контроля состояния насыпных дамб хвостохранилищ обогатительных фабрик / Н. Ф. Низаметдинов [и др.] // Горный журнал. – 2023. – № 2. – С. 63–67 (на русском языке)
9. Ханнанов Р. Р., Алданыш Ж., Михнев А. В. Мониторинг за состоянием гидротехнических сооружений // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 7–4. – С. 76–83 (на казахском языке)
10. Coulibaly Yaya, Belem Tikou, Cheng LiZhen. Численный анализ и геофизический мониторинг для оценки устойчивости дамбы хвостохранилища «Северо-Запад» на шахте Вествуд // International Journal of Mining Science and Technology. – 2017. – Т. 27. – № 4. – С. 701–710 (на английском языке)
11. Улучшение управления рисками хвостохранилищ с помощью трехмерной характеристики методом электротомографии сопротивлений: пример объекта в штате Сан-Паулу, Бразилия / L. A. Oliveira [и др.] // Journal of Applied Geophysics. – 2023. – Т. 210. – Ст. 104924 (на английском языке)
12. Joseph Mwanza, Peter Mashumba, Arnesh Telukdarie. Методология мониторинга устойчивости хвостохранилищ в режиме реального времени с использованием моделирования с помощью цифровых двойников и машинного обучения // Procedia Computer Science. – 2024. – Т. 232. – С. 2279–2288 (на английском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Низаметдинов Ф. К., Долгоносков В. Н., Бесимбаева О. Г. Үйінді бөгеттер мен гидротехникалық құрылыстардың тұрақтылығы. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2013. – 208 б. (орыс тілінде)
2. Бағдарламалық қамтамасыз етудің көмегімен бөгеттердің қалдық қоймаларының МОФ АГМК шекті еңіс параметрлерінің тәуелділіктерін құру / С. С. Сайидкасимов [және т. б.] // Өзбекстанның тау-кен жаршысы. – 2020. – № 4 (83). – Б. 78–82 (орыс тілінде)
3. Үймелі шаймалау алаңындағы кен үйінділерінің тұрақтылығын аспаптық бақылау / Ф. К. Низаметдинов [және т. б.] // Тау-кен журналы. – 2022. – № 2. – Б. 19–23 (орыс тілінде)
4. Ашық кеніштегі жағдаулардың, кемерлер қиябеттері мен үйінділердің деформацияларын бақылау және олардың тұрақтылығын қамтамасыз ету жөніндегі іс-шараларды әзірлеу бойынша әдістемелік нұсқаулар. – Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар және өнеркәсіптік қауіпсіздікті мемлекеттік бақылау комитетінің 2008 жылғы 22 қыркүйектегі № 39 бұйрығымен бекітілген. – 75 б. (орыс тілінде)
5. Байыту фабрикаларының қоршау бөгеттерінің тұрақтылығын қашықтықтан қадағалау / Н. Ф. Низаметдинов [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен жаршысы. – 2024. – № 3 (227). – Б. 17–23 (орыс тілінде)
6. Қалдық қоймаларының қауіпсіздігін бақылау нұсқаулары мен жүйелеріне шолу / Masoud Zare [және т. б.] // (MDPI) Minerals. – 2024. – № 14. – Б. 1–28 (ағылшын тілінде)
7. «Темір көпір» объектісінің мысалында үлкен деректерді талдаудың озық әдістерін қолдана отырып, қалдық қоймасының тұрақтылығын бақылау жүйесі / Wioletta Koperska [және т. б.] // Archives of Civil Engineering. – 2022. – Т. 68 (2). – Б. 297–311 (ағылшын тілінде)
8. Үйінді бөгеттердің қалдық қоймаларының байыту фабрикаларының жағдайын автоматтандырылған бақылау жүйесі / Н. Ф. Низаметдинов [және т. б.] // Тау-кен журналы. – 2023. – № 2. – Б. 63–67 (орыс тілінде)
9. Ханнанов Р. Р., Алданыш Ж., Михнев А. В. Гидротехникалық құрылыстардың жай-күйіне мониторинг жүргізу // Қазіргі әлемдегі өзекті ғылыми зерттеулер. – 2020. – № 7–4. – Б. 76–83 (қазақ тілінде)
10. Coulibaly Yaya, Belem Tikou, Cheng LiZhen. Вествуд шахтасындағы «Солтүстік-Батыс» қалдық қоймасы бөгетінің тұрақтылығын бағалау үшін сандық талдау және геофизикалық мониторинг // International Journal of Mining Science and Technology. – 2017. – Т. 27. – № 4. – Б. 701–710 (ағылшын тілінде)
11. Резистивтік томография әдістемесінен 3d сипаттамасы бойынша қалдық қоймаларының тәуекелдерін басқаруды жақсарту: Сан-Паулу Бразилиядағы жағдайды зерттеу / L. A. Oliveira [және т. б.] // Journal of Applied Geophysics. – 2023. – Б. 210 (ағылшын тілінде)
12. Joseph Mwanza, Peter Mashumba, Arnesh Telukdarie. Цифрлық егіз модельдеуді және машиналық оқытуды қолдана отырып, нақты уақыт режимінде қалдық қоймаларының тұрақтылығын бақылауға арналған негіз // Procedia Computer Science. – 2024. – Т. 232. – Б. 2277–2288 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Nizametdinov F. K., Dolgonosov V. N., Besimbayeva O. G. Ustoichivost' nasypnykh damb i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii [Stability of bulk dams and hydraulic structures]. – Karaganda: KarGTU, 2013. – 208 p. (in Russian)
2. Postroenie zavisimostei parametrov predel'nogo otkosa damb khvostokhranilishch MOF AGMK pri pomoshchi programnogo obespecheniya [Building dependencies of the parameters of the marginal slope of the dams

- of the MOF AGMK with the help of software] S. S. Sayidkasimov et al. *Gornyi vestnik Uzbekistana [Mining Bulletin of Uzbekistan]*. – 2020. – No. 4 (83). – P. 78–82 (in Russian)
3. Instrumental'nyi kontrol' ustoichivosti rudnykh otvalov na ploshchadke kuchnogo vyshchelachivaniya [Instrumental stability control of ore dumps at the heap leaching site] F. K. Nizametdinov et al. *Gornyi zhurnal [Mining Journal]*. – 2022. – No. 2. – P. 19–23 (in Russian)
 4. Metodicheskie ukazaniya po nablyudeniya za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na kar'erakh i razrabotke meropriyatii po obespecheniyu ikh ustoichivosti [Guidelines for Monitoring Deformations of Pit Walls, Bench Slopes and Dumps at Open-Pit Mines and for Developing Measures to Ensure Their Stability]. Approved by the Committee for State Control over Emergencies and Industrial Safety of the Republic of Kazakhstan, No. 39, September 22, 2008. 75 p. (in Russian)
 5. Dstantsionnyi nadzor za sostoyaniem ustoichivosti ograditel'nykh damb obogatitel'nykh fabrik [Remote monitoring of the stability of the protection dams of processing plants] N. F. Nizametdinov et al. *Gornyi zhurnal Kazakhstan [Mining Journal of Kazakhstan]*. – 2024. – No. 3 (227). – P. 17–23 (in Russian)
 6. A Review of Tailings Dam Safety Monitoring Guidelines and Systems / Masoud Zare et al. // (MDPI) *Minerals*. – 2024. – No. 14. – P. 1–28 (in English)
 7. The Tailings Storage Facility (TSF) stability monitoring system using advanced big data analytics on the example of the Želazny Most Facility / Wioletta Koperska et al. // *Archives of Civil Engineering*. – 2022. – Vol. 68 (2). – P. 297–311 (in English)
 8. Sistema avtomatizirovannogo kontrolya sostoyaniya nasypanykh damb khvostokhranilishch obogatitel'nykh fabrik [Automated control system for the condition of bulk dams of tailings dumps and processing plants] N. F. Nizametdinov et al. *Gornyi zhurnal [Mining Journal]*. – 2023. – No. 2. – P. 63–68 (in Russian)
 9. Khannanov R. R., Aldanysh J., Mikhnev A. V. Monitoring of the condition of hydraulic structures // *Current scientific research in the modern world*. – 2020. – No. 7–4. – P. 76–83 (in Kazakh)
 10. Coulibaly Yaya, Belem Tikou, Cheng LiZhen. Numerical analysis and geophysical monitoring for stability assessment of the Northwest tailing dam at Westwood Mine // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2017. – Vol. 27. – Issue 4. – P. 701–710 (in English)
 11. Improving tailings dam risk management by 3D characterization from resistivity tomography technique: Case study in São Paulo – Brazil / L. A. Oliveira et al. // *Journal of Applied Geophysics*. – 2023. – Vol. 210. – Article 104924 (in English)
 12. Joseph Mwanza, Peter Mashumba, Arnesh Telukdarie. A Framework for Monitoring Stability of Tailings Dams in Realtime Using Digital Twin Simulation and Machine Learning // *Procedia Computer Science*. – 2024. – Vol. 232. – P. 2277–2288 (in English)

Сведения об авторах:

Низаметдинов Н. Ф., к. т. н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), leica@geobusiness.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Рахатова А. Б., м. т. н., докторант ГОП «Геодезия и картография», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), l-aliya-rahatova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-9086-232X>

Маматкулов З. Ж., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Государственный кадастр», Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (г. Ташкент, Узбекистан), z.mamatkulov@tiiame.uz; <https://orcid.org/0000-0001-9853-856X>

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>

Авторлар туралы мәліметтер:

Низаметдинов Н. Ф., т. ғ. к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Рахатова А. Б., т. ғ. м., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Геодезия және картография» ББТ докторанты (Астана қ., Қазақстан)

Маматкулов З. Ж., Ph.D докторы, Ташкент ауыл шаруашылығын суару және механикаландыру инженерлері институты, «Мемлекеттік кадастр» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Ташкент қ., Өзбекстан)

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

Information about the authors:

Nizametdinov N. F., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Rakhatova A. B., Master of Technical Sciences, doctoral student at the Department of Geodesy and Cartography, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin (Astana, Kazakhstan)

Mamatkulov Z. Zh., Doctor of PhD, Associate Professor of the Department of State cadastre, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

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

Код МРНТИ 38.33.19:38.33.17

*Б. Б. Ағалиева, С. А. Мусаканова, И. Е. Матайбаева, Е. А. Калиев

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

АРАЛ Өңірінің сорлары мен табиғи суларының литийлілігі

Аннотация. Қазақстанның Арал өңіріндегі сорлармен, тұзды көлдермен және жерасты суларымен байланысты литийлі гидроминералдық объектілерге салыстырмалы шолу жасалды. Негізгі назар сор рапаларындағы, рассолдардағы, сондай-ақ әртүрлі тереңдіктерден алынған грунт үлгілеріндегі литий концентрациясына аударылды. Аталған аймақта литийдің өнеркәсіптік концентрациясы тек сорлармен ғана байланысты екендігі анықталды, ал өздігінен ағатын ұңғымалардың жерасты сулары литийдің кларктық мазмұнымен сипатталады. Ең перспективалы объектілер ретінде Момышкөл соры (рападағы Li – 53,976 мг/л), Жақсыкылыш көлі (11,01 мг/л) және Бірітабан Қарасу урочищесіндегі атаусыз сор (13,062 мг/л) айқындалды. Рассолдардағы литийдің жинақталуының ионалмасу механизмі туралы – сыйыстырушы саздақ жыныстардан шайылып шығу есебінен – болжам ұсынылды.

Түпінді сөздер: литий, рапа, сорлар, Арал өңірі, Қазақстан, гидрогеохимия, геохимиялық іздегірту, өнеркәсіптік концентрациялар.

Lithium content of salt soils and natural waters in the Aral Sea region

Abstract. A comparative review of lithium-bearing hydromineral objects of the Aral Sea region (Kazakhstan) associated with salt marshes, salt lakes and groundwater was carried out. It focuses on lithium concentrations in brines and brines of salt marshes, as well as in soils at various extraction depths. It has been established that industrial concentrations of lithium in this region are associated exclusively with salt marshes, while groundwater from self-overflowing wells is characterized by clark content. The most promising objects are the Momyshkol salt marsh (53.976 mg/l Li in rapa), Lake Zhaksykylysh (11.01 mg/l) and the unnamed salt marsh of the Birtaban Karasu tract (13.062 mg/l). A hypothesis has been put forward about the ion exchange mechanism of lithium accumulation in brines due to leaching from the host clayey rocks.

Key words: lithium, rapa, salt marshes, Aral Sea region, Kazakhstan, hydrogeochemistry, geochemical prospecting, industrial concentrations.

Литиеносность солончаков и природных вод Приаралья

Аннотация. Проведен сравнительный обзор литиеносных гидроминеральных объектов Приаралья (Казахстан), связанных с солончаками, солеными озерами и подземными водами. Основное внимание уделено концентрациям лития в рапах и рассолах солончаков, а также в грунтах на различных глубинах отбора. Установлено, что промышленные концентрации лития в данном регионе ассоциируются исключительно с солончаками, тогда как подземные воды самоизливающиеся скважины характеризуются кларковыми содержаниями. Наиболее перспективными объектами определены солончак Момышкөл (53,976 мг/л Li в рапе), озеро Жаксыкылыш (11,01 мг/л) и безымянный солончак урочища Биртабан Карасу (13,062 мг/л). Выдвинута гипотеза об ионообменном механизме накопления лития в рассолах за счет вымывания из вмещающих глинистых пород.

Ключевые слова: литий, рапа, солончаки, Приаралье, Казахстан, гидрогеохимия, геохимические поиски, промышленные концентрации.

Кіріспе

XXI ғасырдың басынан бастап литий әлем экономикасының стратегиялық шикізатына айналды. Электромобильдерге және энергияны сақтау жүйелеріне арналған литий-ионды аккумуляторлар өндірісінің өсуі осы металға деген сұраныстың күрт артуына алып келді. АҚШ Геологиялық қызметінің мәліметтері бойынша литийдің әлемдік ресурстары 98 млн т деп бағаланады, оның шамамен 60%-ы тұзды көлдер рассолдарында шоғырланған [1].

Дәстүрлі түрде гидроминералдық литийдің негізгі көзі ретінде «литий үшбұрышының» – Чили, Аргентина және Боливияның – таулы салалары, сондай-ақ Қытайдың Тибет үстіртіндегі тұзды көлдер есептеледі. Сонымен бірге литийдің мүмкін болатын дәстүрлі емес көздері, атап айтқанда аридті ойпаттардағы сорлар, өте жеткіліксіз зерттелген [2].

Арал өңірінің аумағы бірегей табиғи объектіні білдіреді: кеуіп қалған Арал теңізінің түбі ауқымды сорлармен және теңіздік эвапориттер қабаттарымен жабылған, теориялық тұрғыдан литий мазмұны бар шикізаттың айтарлықтай қорын сақтауы мүмкін. Арал өңірінің өнеркәсіптік сулары мен тұздары литий мазмұнына іс жүзінде зерттелмеген. Сирек кездесетін әдеби деректер бойынша литийдің аймақтың тұзды көлдері мен рапаларында болуы мүмкін деп болжанған [3].

2023 жылдың күз мезгілінде Арал өңірінің литий кен орнына минерагендік потенциалын зерттеуге арналған жүйелі іздегірту жұмыстары алғаш рет жүргізілді. Осы мақала алынған нәтижелерді жинақтауды және талдауды қамтиды.

Зерттеу ауданы

Әкімшілік тұрғыдан алғанда зерттелген аумақ Қазақстан Республикасының Қызылорда облысының Қазалы

және Арал аудандарын, сондай-ақ Ақтөбе облысының Шалқар ауданын қамтиды. Ірі елді мекендері: Арал қаласы (шамамен 30 мың тұрғын) және Шалқар қаласы (шамамен 28 мың тұрғын).

Географиялық тұрғыдан аудан абсолюттік белгілері 45-тен 250 м-ге дейін өзгертін, негізінен кеуіп қалған Арал теңізінің түбінде орналасқан кең аласа жазықты білдіреді. Оның шеңберінде рельефтің үш негізгі элементі бөлінеді: Арал маңы Қарақұмының құмдары (эолдық рельеф пішіндері, абсолюттік белгілер 70–100 м), теңіз жазығы (кеуіп қалған Аралдың тегіс, аздап еңкейген беті, белгілер 45–56 м) және солтүстік бөлігіндегі үстелді тип останецтері бар төбелі жазық.

Климат күрт континентті, аридті: жылдық жауын-шашын мөлшері 100–150 мм-ден аспайды, жаздық температура +40–45 °С-қа жетеді, булану жауын-шашыннан бірнеше есе асып кетеді. Бұл жағдайлар грунттардың қарқынды тұздануын және рельефтің ойыстарында – сорлар мен тұзды көлдерде – тұздардың шоғырлануын туғызады.

Жұмыс әдістемесі

Далалық жұмыстар басталмас бұрын камералдық кезеңде жерді кашықтықтан зондтау материалдары дешифрленді және алғашқы сынамалауға ең перспективалы учаскелер айқындалды. Далалық жұмыстар барысында өздігінен ағатын артезиандық ұңғымалар, бұлақтар, тұзды көлдер және сорлар тексерілді [4, 5, 6].

Өздігінен ағатын ұңғымаларда дебит, минерализация (TDS), су температурасы анықталып, химиялық талдауға арналған үлгілер іріктелді. Сорларда су (рапа) және грунт үлгілері беттен, сондай-ақ 0,15 м; 0,30 м; 0,45 м тереңдіктерден, жекелеген учаскелерде – 0,9 м тереңдікке дейін



Сурет 1а. Сор бетінен тұз үлгісін іріктеу.
Figure 1a. Taking salt samples from the surface
of the salt marsh.

Рис. 1а. Отбор проб соли с поверхности солончака.



Сурет 1в. Далалық журналдарды жүргізу.
Figure 1c. Keeping field journals.

Рис. 1в. Ведение полевых журналов.



Сурет 1б. Копуш өткізу.
Figure 1b. Passage of the kopusha.
Рис. 1б. Проходка копуши.



Сурет 1г. Өздігінен ағатын ұңғыманы тексеру.
Figure 1d. Examination of a self-flowing well.
Рис. 1г. Обследование самоизливающейся скважины.

алынды. Барлық бақылау нүктелерінде далалық тіркеу және фотосуретке түсіру жүргізілді.

2023 жылғы далалық жұмыстар барысында барлығы 80-нен астам су үлгісі және 232 грунт үлгісі іріктелді. Су үлгілері Алматы қаласындағы У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының химиялық-аналитикалық зерттеу әдістері зертханасында ИСП-АЭС әдісімен (СТ РК ГОСТ Р 51309-2003) талданды. Грунт үлгілері Қарағанды қаласындағы ALS Kazgeochemistry зертханасында ME-ICP41 және ME-ICP61 әдістерімен зерттелді [7, 8].

Гидрогеохимиялық зерттеу нәтижелері

Гидрогеохимиялық зерттеулермен 1 ретті үш гидрогеологиялық бассейні қамтылды: Үстірт, Сырдария және Аралмаңы-Торғай-Шу-Сарысу. Барлығы 36 өздігінен ағатын ұңғыма, 9 бұлақ және 25 тұзды көл сынамаланды.

Жерасты сулары. Өздігінен ағатын ұңғымалармен ашылған жерасты суларындағы литий мөлшері 0,031–0,133 мг/л аралығында. Ұңғымалардың ешқайсысында өнеркәсіптік концентрация (10 мг/л-ден жоғары) анықталмады. Ұңғымалардың дебиті 0,12-ден 20 дм³/с-қа дейін,

минерализация – 1,4-тен 9,6 г/л-ге дейін, су температурасы – 16-дан 48 °C-қа дейін өзгереді.

Бұлақтар. Сынамаланған бұлақтардағы литий концентрациясы 0,083–1,602 мг/л аралығында. Батыс Арал өңірінде (338 б.н., Тұщыбас шығанағы) 3,729 мг/л дейінгі жоғарылаған мән белгіленді. Жалпы алғанда бұлақтардағы литий мөлшері өнеркәсіптік мәндерден төмен.

Көлдер мен сор рапалары. Литийдің ең жоғары концентрациялары сор рапаларынан және тұзды көлдер суларынан анықталды. Көлдер суындағы литий концентрациясы 0,466-дан 53,976 мг/л-ге дейін өзгереді [9, 10].

Геохимиялық зерттеу нәтижелері

Далалық жұмыстар барысында 82 учаскеде сор бетінен және 0,15–0,45 м тереңдіктерден 232 грунт үлгісі іріктелді. Зертханалық зерттеу деректері бойынша грунттардағы литий концентрациясы 10-нан 170 мг/кг (г/т) дейін өзгереді. Концентрация мәні бойынша үш дәреже бөлінеді: төмен өнеркәсіптік – 10–20 мг/кг, жоғары – 20–50 мг/кг, өте жоғары – 50 мг/кг-нан астам.

Геохимиялық деректер бойынша ең перспективалы алты учаске айқындалды. Сорбұлақ алқабындағы сор (36 б.н., Арал өңірінің солтүстік-шығысы): 0,15–0,45 м

Кесте 1

Арал өңіріндегі литий мөлшері жоғарғы объектілер

Table 1

Objects with high lithium content in the Aral Sea region

Таблица 1

Объекты с повышенным содержанием лития в Приаралье

Объектілер	Координаттар	Li, мг/л	Ескертпе
Момышкөл соры (325 б.н.)	46°30'33" с.е., 61°39'55" ш.б.	53,976 / 11,658	Рапа (0,15 м) / жерасты сулары; өте жоғары өнеркәсіптік концентрациялар
Атаусыз сор (48 б.н.)	46°49'50" с.е., 59°20'56" ш.б.	13,062	Ең төменгі өнеркәсіптік концентрация (> 10 мг/л)
Жаксы Қылыш көлі (326 б.н.)	46°51'47" с.е., 61°54'13" ш.б.	11,01	Ең төменгі өнеркәсіптік концентрация
Қаланды а. маңындағы сор (341 б.н.)	46°04'11" с.е., 59°30'04" ш.б.	11,474	Рапа, ең төменгі өнеркәсіптік концентрация
Ақбөгет көлі (34 б.н.)	45°59'38" с.е., 61°18'24" ш.б.	7,187	Жоғарылаған концентрациялар
Тақыртөбе урочищесі (18 б.н.)	45°02'22" с.е., 61°47'21" ш.б.	8,368	Жоғарылаған концентрациялар
Қошқарата соры (350/351 б.н.)	46°35'44–54" с.е., 58°22–31" ш.б.	4,122–4,267	Жоғарылаған концентрациялар



Сурет 2. Жаксы Қылыш соры – Li мөлшері 11,01 мг/л.

Figure 2. Salt marsh Zhaksy Kylysh – Li content 11.01 mg/l.

Рис. 2. Солончак Жаксы Кылыш – содержание Li 11,01 мг/л.



Сурет 3. Сор рапаларынан сынама алу.

Figure 3. Sampling from salt marsh brines.

Рис. 3. Отбор проб из рап солончаков.

аралығындағы **Li**-дің орташа мөлшері 156 мг/кг, максимум – 0,30 м тереңдікте 170 мг/кг. Бұл мәндер өте жоғары өнеркәсіптік концентрацияларға жатады [11].

Бердікөл көлінің соры (39 б.н., Арал өңірінің солтүстігі): барлық сынама тереңдіктерінде литий мөлшері

80–90 мг/кг, орташа – 87,5 мг/кг. Кіші Барсуки құмдарынан шығысқа қарай орналасқан атаусыз сор (41 б.н.): литий концентрациясы 50–70 мг/кг. Жетіқаңсор соры (51 б.н.): 20–80 мг/кг, орташа мән 55 мг/кг. Баспансор соры (70 б.н.): зерттелген бүкіл аралықта литий мөлшері тұрақты 70–80 мг/кг, орташа – 77,5 мг/кг.



Сурет 4. Сорбұлақ алқабындағы сор – геохимиялық жұмыстардың ең перспективалы учаскесі, Li мөлшері 170 мг/кг-ға дейін.

Figure 4. Solonchak of the Sorbulak site is the most promising area for geochemical work, Li content is 170 mg/l.

Рис. 4. Солончак участка Сорбулак – наиболее перспективный участок геохимических работ, содержание Li 170 мг/л.

Нәтижелерді талқылау

Алынған деректер Латын Америкасының «литий үшбұрышында» және Қытайдың Тибет үстіртінде іске асырылған классикалық литийлілік үлгісінен түбегейлі ерекшеленеді. Бұл аймақтарда литий жас вулканизм аймақтарымен

тамақтанатын ыстық және жылы бұлақтармен байланысты [4, 5]. Ең ірі салалардың – Атакама (Чили) және Уюни (Боливия) – рапаларындағы литий мөлшері 1000–7000 мг/л-ге жетеді.

Арал өңірінде жағдай түбегейлі өзгеше: жерасты сулары жоғары дебитке және айтарлықтай минерализацияға (9,6 г/л-ге дейін) қарамастан, литийдің тек кларктық мөлшерін ғана (0,031–0,133 мг/л) қамтиды. Бұл Арал аймағындағы вулкандық белсенділіктің және геотермалдық көздердің болмауымен түсіндіріледі.

Басты бақылау – литийдің тереңдік бойынша таралу сипаты: рассолдардағы концентрация сынама тереңдігіне іс жүзінде тәуелді емес және тамақтандырушы ұңғыма суларындағы концентрациямен корреляцияланбайды. Бұл литийдің бастапқыда саздақ жыныстарда болатындығын, олардан рассолдардың натрий хлоридінің әсерінен ионалмасу нәтижесінде жерасты суларына өтетіндігін куәландырады [8]. Осылайша, бұл кен пайда болу түрін ионалмасулы-элювиалды деп сипаттауға болады.

Бурабай массивінің (Шығыс қазақстан) литийлілігімен салыстыру

Қазақстанның литий потенциалын толық түсіну үшін Арал өңірінде алынған нәтижелерді Бурабай гранитоидты массивінің (Шығыс Қазақстан облысы, Күршім ауданы, Зайсан ойысы) аумағындағы көлдер литийлілігіне қатысты 2020 жылы ИСП-МС әдісімен алынған деректермен салыстыру ерекше ғылыми қызығушылық тудырады.

Бурабай учаскесі Қалба-Нарым батолитының құрамындағы ерте пермдік жастағы аттас гранитты массивке тіркелген. Арал өңірінен айырмашылығы – мұнда литий аридті климат жағдайында қарқынды булану кезінде сорлардың рапалары мен рассолдарында шоғырланбайды, – Бурабай массивінің ауданында литий көзі болып **Li** мөлшері 19,1 г/т болатын Қалба кешеннің биотиттік граниттері, ал көл түбіндегі шөгінділер 0,98 г/т дейін литий қамтиды. Бурабай учаскесінің тұйық көлдерінің сулары (8–10 көлдер) литийді 366,20 мкг/л (0,366 мг/л) мөлшерінде қамтиды. Бұл мәндер сыйыстырушы граниттерден литийдің баяу шайылып шығуын – гранитогендік литийлілік типі деп аталатынды – куәландырады.

Осылайша, Қазақстан шеңберінде гидроминералдық литийліліктің екі түбегейлі өзгеше типі айқындалды (2-кесте). Бірінші тип – ионалмасулы-эвапориттік (Арал өңірі): литий мезо-кайнозой жасындағы сыйыстырушы саздақ жыныстармен концентрленген хлоридтік-натрийлік тұздықтармен өзара әрекеттесуі нәтижесінде ионалмасу арқылы тұйық сорлардың рапалары мен рассолдарында жинақталады; литий концентрациясы 53,976 мг/л-ге жетеді, бұл өнеркәсіптік өндіру шегінен 147 есе жоғары. Екінші тип – гранитогендік (Бурабай массиві): литий Қалба-Нарым плутонының литийлі граниттерінен химиялық шайылу кезінде тұйық көлдер суларына түседі; максималды концентрациялар 0,366 мг/л құрайды, бұл өнеркәсіптік мәндерден айтарлықтай төмен, алайда сыйыстырушы гранитоидтардың сирек металдық мамандануымен тікелей байланысты.

Айқындалған айырмашылықтар түбегейлі өзгеше геологиялық және климаттық жағдайлармен байланысты: Арал өңірінде аридті климат, қарқынды булану және кеуіп қалған Арал теңізінің қуатты эвапоритті шөгінділерінің

болуы шешуші рөл атқарады, ал Шығыс Қазақстанда көлдердің литийлілігі тауқайнарлы гранитоидтарға жақындығымен айқындалады – олардың минерал құрайтын минералдарында (биотит пен мусковитте) литийдің жоғарылаған концентрациялары бар. Алынған деректер Қазақстандағы аридті зоналардың сорларында да, сирек металдық гранитоидты массивтерге тіркелген тұйық көлдерде де гидроминералдық литийге бағытталған іздестіру жүргізудің перспективалылығына дәлел болып табылады.

Кесте 2

Қазақстан табиғи суларының литийлілік типтерін салыстыру

Table 2

Comparison of lithium types in natural waters of Kazakhstan

Таблица 2

Сравнение типов лития в природных водах Казахстана

Көрсеткіш	Арал өңірі	Бурабай массиві (ШҚО)
Литийлілік типі	Ионалмасулы-эвапориттік	Гранитогендік
Литий көзі	Мезо-кайнозой саздақ жыныстары (рассолдармен ионалмасу)	Қалба-Нарым плутонының биотиттік граниттері (шайылу)
Сулардағы Li , мг/л	0,466–53,976 (макс. 53,976)	0,366 дейін
Жыныстар/грунттардағы Li , г/т	10–170 (сорлардың грунттары)	19,1 (граниттер); 0,98 (түбіндегі шөгінділер)
Сулардың минерализациясы	10 г/л-ден жоғары (рапалар)	0,5–9 г/дм ³
Климат және рельеф	Аридті жазық, кеуіп қалған теңіз түбі, сорлы ойыстар	Таулы-тайгалық рельеф, гранитты массивтер арасындағы тұйық көлдер
Өнеркәсіптік перспективалары	Жоғары: Li > 10 мг/л болатын 4 объект; барлау жүргізу ұсынылады	Өнеркәсіптіктен төмен; СМ кенденуінің индикаторы ретінде маңызды
Талдау әдісі	ИСП-АЭС (СТ РК ГОСТ Р 51309-2003); МЕ-ICP41/61	ИСП-МС (ICP-MS Agilent 7500cx)

Қорытынды

Арал өңірінің 36 өздігінен ағатын ұңғымасының жерасты суларындағы литий мөлшері 0,031–0,133 мг/л құрайды, бұл ең төменгі өнеркәсіптік мәннен (10 мг/л) екі есе төмен. Латын Америкасының «литий үшбұрышына» тән гидроминералдық литийдің геотермалдық белсенділікпен генетикалық байланысы осы аймақта жоқ.

Литийдің өнеркәсіптік концентрациялары (> 10 мг/л) төрт объектінің рапалары мен суларынан анықталды: Мо-

мышкөл соры – 53,976 мг/л (0,15 м тереңдіктегі рапа) және 11,658 мг/л (жерасты сулары); Бірітабан Қарасу маңындағы сор – 13,062 мг/л; Жаксықылыш көлі – 11,01 мг/л; Қаланды а. маңындағы сор – 11,474 мг/л. Аталған объектілер егжей-тегжейлі геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу үшін ұсынылады.

Грунттарды геохимиялық сынамалау деректері бойынша (232 үлгі, 82 учаске) өнеркәсіптік санатқа жататын литий концентрациясы бар алты перспективалы сор айқындалды: Сорбұлақ – орташа 156 мг/кг (максимум 170 мг/кг), Бердіқол – 87,5 мг/кг, Баспансор – 77,5 мг/кг, Жетіқаңсор – 55 мг/кг, бұл Л. С. Балашов жіктемесі бойынша өте жоғары және жоғары өнеркәсіптік мазмұндарға сәйкес келеді.

Сорлардың рассолдарында литийдің тереңдік бойынша таралуының салыстырмалы түрде біркелкі екені және оның концентрациясы коректендіруші жерасты суларының концентрациясымен айқын корреляция көрсетпейтіні анықталды. Бұл литийлі рассолдардың қалыптасуының ионалмасулы-элювиалды механизмін куәландырады: литий көзі болып мезо-кайнозой жасындағы саздақ жыныстар табылады, олардан металл концентрленген хлоридтік-натрийлік рассолдармен өзара әрекеттесу кезінде бөлінеді.

Бурабай гранитоидты массивінің (Шығыс Қазақстан) көлдері литийлілігіне қатысты деректермен салыстыру

Қазақстан шеңберінде гидроминералдық литийліліктің екі типінің – ионалмасулы-эвапориттіктің (Арал өңірі, *Li* 53,976 мг/л дейін) және гранитогендіктің (Бурабай, *Li* 0,366 мг/л дейін) – арасындағы айқын айырмашылықтарды көрсетеді. Арал өңірі айтарлықтай жоғары өнеркәсіптік потенциалға ие және гидроминералдық литийге одан әрі іздестіру-барлау жұмыстарын жүргізуге перспективалы объект болып табылады.

Қаржыландыру

Бұл мақала «Жас Ғалым» бюджеттік бағдарламасы шеңберінде орындалатын №113-459-24 шарт негізінде АР22682812 «Шығыс Қазақстанның табиғи суларында сирек кездесетін элементтердің геохимиялық таралуын геоақпараттық жүйелерді қолдана отырып зерттеу» жобасы бойынша Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2024–2026 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру конкурсы аясында дайындалды.

Алғыс

Авторлар әріптестеріне әдістемелік қолдау және пайдалы талқылаулар үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Yaskula B. V. *Lithium* // *Yearbook of Minerals of the US Geological Survey*. – 2022. – Б. 44.1–44.10 (ағылшын тілінде)
2. Оңтүстік Америка мен Орталық Азияның литий тұзды көлдері / Н. И. Волкова [және т. б.] // *Тұрақты даму үшін химия*. – 2012. – Т. 20. – Б. 21–26 (орыс тілінде)
3. Қазақстан Республикасының гидрогеологиялық карталарының атласы. – Алматы: М. И. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, 2022. – 180 б. (орыс тілінде)
4. Garrett D. *Литий және табиғи кальций хлориді анықтамалығы: олардың кен орындары, өңдеуі, қолданылуы және қасиеттері*. – Амстердам: Elsevier Academic Press, 2004. – 476 б. (ағылшын тілінде)
5. *Жер асты сирек кездесетін металл суларын геохимиялық бағалау және картаға түсіру бойынша әдістемелік ұсыныстар* / Л. С. Балашов, М. С. Голицын, Н. В. Ефремочкин [және т. б.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – 87 б. (орыс тілінде)
6. Шу-Сарысу ойпатының сортаң жерлерінің беткі қабатындағы суларындағы литий құрамының болашағы / Р. Т. Баратов [және т. б.] // *Қазақстанның тау-кен журналы*. – 2023. – № 11. – Б. 5–13 (орыс тілінде)
7. Қатты пайдалы қазбалардың кен орындарының қорларын жіктеуді және болжамды ресурстарын қолдану бойынша әдістемелік ұсыныстар. Көл тұздары. – Мәскеу: Пайдалы қазбалар қорлары жөніндегі мемлекеттік комиссия, 2007 (орыс тілінде)
8. Ченсизбаев Д. Б. Қазақстан Республикасының минералды-шикізат базасының литий әлеуеті // *TPU хабаршысы. Георесурстар инженериясы*. – 2024. – Т. 335. – № 7. – Б. 120–133 (орыс тілінде)
9. Шу-Сарысу ойпатының тұзды тұзды суларындағы литий концентрациясы / R. T. Baratov [және т. б.] // *Applied sciences*. – 2024. – Т. 14. (12). – 5351 (ағылшын тілінде)
10. Арал теңізі аймағының тұзды көлдерінің тұзды суынан литий хлоридін алу процесін зерттеу / А. А. Анарбайев [және т. б.] // *ИЖИТЕЭ*. – 2019. – Т. 8 (7). – Б. 2235–2238 (ағылшын тілінде)
11. Арал теңізі аймағының литий бар тұзды суынан литий хлоридін сорбциялық алуды математикалық модельдеу / М. М. Ulbekova [және т. б.] // *Science Direct*. – 2024. – Т. 358. – 118756 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Yaskula B.V. *Lithium* // *Yearbook of Minerals of the US Geological Survey*. – 2022. – P. 44.1–44.10 (in English)
2. *Litievye solyanye ozero Yuzhnoi Ameriki i Tsentral'noi Azii [Lithium Salt Lakes of South America and Central Asia]* N. I. Volkova et al. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya [Chemistry for Sustainable Development]*. – 2012. – Vol. 20. – P. 21–26 (in Russian)

3. *Atlas gidrogeologicheskikh kart Respubliki Kazakhstan [Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan]*. – Almaty: Institut gidrogeologii i geoekologii imeni U. M. Akhmedsafina, 2022. – 180 p. (in Russian)
4. Garrett D. *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride: Their Deposits, Processing, Use, and Properties*. – Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. – 476 p. (in English)
5. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke i kartirovaniyu podzemnykh redkometall'nykh vod [Methodical Recommendations for Geochemical Assessment and Mapping of Underground Rare-Metal Waters]* L. S. Balashov, M.S. Golitsyn, Efremochkin N.V. et al. – Moscow: VSEGINGEO, 1977. – 87 p. (in Russian)
6. *Perspektivy litienosnosti priповерхностnykh vod solonchakov Chu-Sarysuiskoi vpadiny [Prospects for Lithium Content of Surface Waters of the Chu-Sarysu Depression Solonchaks]* R. T. Ratov et al. *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. – 2023. – No. 11. – P. 5–13 (in Russian)
7. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu klassifikatsii zapasov mestorozhdenii i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Ozerne soli [Guidelines for the Application of the Classification of Mineral Reserves and Prognostic Resources of Solid Minerals. Lake Salts]*. – Moscow: Gosudarstvennaya komissiya po zapasam poleznykh iskopaemykh, 2007 (in Russian)
8. Chensizbaev D. B. *Litievyy potentsial mineral'no-syr'evoi bazy Respubliki Kazakhstan [Lithium Potential of the Mineral Resource Base of the Republic of Kazakhstan]*, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering [Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov]*. – 2024. – Vol. 335. – No. 7. – P. 120–133 (in Russian)
9. *Lithium concentrations in saline brines of the Shu-Sarysu depression* / R. T. Ratov et al. // *Applied sciences*. – 2024. – Vol. 14 (12). – Article 5351 (in English)
10. *Study of the process of lithium chloride extraction from the brine of salt lakes of the Aral Sea* / A. A. Anarbayev et al. // *Izhevsk Institute of Hydrometeorology and Electrification*. – 2019. – Vol. 8 (7). P. 2235–2238 (in English)
11. *Mathematical Modeling of Sorptive Extraction of Lithium Chloride from Lithium-Containing Brine of the Aral Sea Region* / M. M. Ulbekova et al. // *Separation and Purification Technology*. – 2024. – Vol. 358. – Article 118756 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yaskula B. V. *Лутий* // *Yearbook of Minerals of the US Geological Survey*. – 2022. – С. 44.1–44.10 (на английском языке)
2. *Литиевые соляные озера Южной Америки и Центральной Азии* / Н. И. Волкова [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2012. – Т. 20. – С. 21–26 (на русском языке)
3. *Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан*. – Алматы: Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, 2022. – 180 с. (на русском языке)
4. Garrett D. *Справочник по литию и природному хлориду кальция: их месторождения, переработка, использование и свойства*. – Амстердам: Elsevier Academic Press, 2004. – 476 с. (на английском языке)
5. *Методические рекомендации по геохимической оценке и картированию подземных редкометаллических вод* / Л. С. Балашов, М. С. Голицын, Н. В. Ефремочкин [и др.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – 87 с. (на русском языке)
6. *Перспективы литиеносности приповерхностных вод солончаков Чу-Сарысуиской впадины* / Р. Т. Баратов [и др.] // *Горный журнал Казахстана*. – 2023. – № 11. – С. 5–13 (на русском языке)
7. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Озерные соли*. – М.: Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, 2007 (на русском языке)
8. Ченсизбаев Д. Б. *Литиевый потенциал минерально-сырьевой базы Республики Казахстан* // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024. – Т. 335. – № 7. – С. 120–133 (на русском языке)
9. *Концентрации лития в соленых рассолах Шу-Сарысуской депрессии* / R. T. Baratov [и др.] // *Applied sciences*. – 2024. – Т. 14 (12). – Ст. 5351 (на английском языке)
10. *Исследование процесса извлечения хлорида лития из рассола соленых озер Аральского моря* / А. А. Анарбайев [и др.] // *ИЖИТЕЭ*. – 2019. – Т. 8 (7). – С. 2235–2238 (на английском языке)
11. *Математическое моделирование сорбционного извлечения хлорида лития из литийсодержащего рассола Аральского моря* / М. М. Ulbekova [и др.] // *Separation and Purification Technology*. – 2024. – Т. 358. – Ст. 118756 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Ағалиева Б. Б., Ph.D докторы, ІФҚ, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), agalieva_00@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5682-8451>

Мусаканова С. А., Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), saya_22.01@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-7386-135X>

Матайбаева И. Е., Ph.D докторы, Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), indi.mataybaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0550-7591>

Калиев Е. А., Жер туралы ғылымдар мектебінің магистранты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), era_grk@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-9241-4516>

Information about the authors:

Agalieva B. B., Ph.D, Senior Lecturer, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Musakanova S. A., Senior Lecturer, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Mataibaeva I. E., Ph.D, Professor, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Kaliev E. A., Master's student, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Ағалиева Б. Б., доктор Ph.D, ВНС, ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Мусаканова С. А., ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Матайбаева И. Е., доктор Ph.D, профессор школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Калиев Е. А., магистрант школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

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;
 - 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.