

**ГОРНЫЙ
ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА**

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

Издается с января 2003 г.

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

*В журнале публикуются материалы, отражающие
состояние и перспективы развития геологии, горного дела
и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом.*

*Журнал освещает проблемы охраны труда и техники
безопасности, экономики, подготовки кадров и других
вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом.
В журнале представлены статьи прикладного характера,
результаты фундаментальных исследований, служащие
основой для новых технических разработок.*

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

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

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

Представители журнала:

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

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

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

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

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

Подписано в печать 20.03.2025 г.

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

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



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

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

Редакционная коллегия:

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

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD, Professor of Mining Engineering

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

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

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

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

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

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Едильбаев А.И., д-р техн. наук

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

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

Каримов Ш.В., PhD (Узбекистан)

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

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

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

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

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

Ольшанский Е.Н., член-корреспондент МАИН

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Туробов Ш.Н., PhD, доцент

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

Хамидов Р.А., PhD, доцент

Шодиев А.Н., д-р техн. наук, доцент

Чепуштанова Т.А., PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

3	Колонка главного редактора
	Вклад в науку
5	Эксперт в области горной инженерии Аман Шакенов: его методики в контексте современных тенденций в сфере горного транспорта в Казахстане
8	Прорывные решения для региона: чем ESAB удивляет промышленников в 2025 году
9	Надежность работ – в качественных материалах
	Геодезия
10	<i>А.Е. Ормамбекова, Р. Шульц, *Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова</i> Оценка эффективности автоматической системы наблюдения для высотных конструкций с включением измерений ГНСС
18	<i>А.С. Әбен, Х. Дай, *Ы. Жакыпбек, Б.Б. Күмісханова</i> Электр желі тректерін қалпына келтірудегі LiDAR деректерін геодезиялық есептеу
26	<i>*А.К. Сатбергенова, А.К. Зекен, Ф.К. Низаметдинов, Н.Ф. Низаметдинов</i> Дифференциалды интерферометрия әдісі арқылы жер бетінің қозғалысын бақылау нәтижелері
	Геомеханика
32	<i>*А.А. Алтаева, Б.Б. Садыков, А.Б. Даркенбаева, А. Таскара</i> Инструментальные наблюдения за деформационными процессами земной поверхности Орловского месторождения
	Обогащение полезных ископаемых. Производственный опыт
41	<i>*А. Доберсек, А. Кирнарский</i> Технологическое совершенство процессов обогащения железной руды
	Металлургия
49	<i>*Т.Ш. Тусупбекова, Б.С. Баимбетов, Л.М. Каримова, С.В. Мамяченков</i> Анализ способов переработки молибденовых руд и концентратов
	Нефтегазовое дело
56	<i>А.Н. Есендосова, *А.К. Абдуллина, Н.С. Малыбаев</i> Исследование процессов заводнения месторождения Жетыбай
	Геоэкология
64	<i>G. Shalabaeva, *G. Toychiekova, S. Kurbaniyazov, A. Damenova</i> Study of the impact of limestone mining and processing on ecosystems
71	<i>Қ.Т. Абдраимова, *Г.Ж. Турметова, Э.К. Ибрагимова, Д.К. Сунакбаева</i> Фосфор қосылыстарының негізінде техногенді ластанған топырақтарды мелиорациялау
	Выдающиеся достижения
79	Маржан Байсановна Нурпеисова – «Лучший преподаватель ВУЗа РК 2024 года»!
80	Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Уважаемые коллеги!
Дорогие читатели!*

Так уже исторически сложилось, что 1-ое марта – это условное начало весны, ну, а 8-ое Марта – это праздничный день, который посвящен лучшей половине человечества – женщине. Нам всем не до истории и условностей, потому что нам нужна весна и мы все и всегда обожаем женщин.

Ни для кого из нас не является секретом, что присутствие и зачастую главенство женского начала и его духовный потенциал помогают и в простых житейских ситуациях, и в науке, и в образовании и медицине, и в экономике и государства, и семьи. Чувство благодарности, чувство восхищения нашими мамами, супругами, дочерьми, сестрами и вообще женским окружением создают и весеннее настроение, когда люди готовы творить, создавать, дарить и говорить сокровенные слова.

Женский труд вдвойне ценен, потому что в отличие от многих мужчин женщины отличаются на производстве исключительной дисциплинированностью и исполнительностью, требовательностью и наблюдательностью. Не зря на таких специальностях, как раздатчик ВМ на подземных складах и машинист подъема на поверхности и на слепых шахтах, женщины всегда были более востребованы. На обогащательных фабриках главными творцами чуда превращения руды в концентрат были всегда флотаторы-женщины. Когда на участке маркшейдер и геолог женщины, плановые показатели выполнять несколько легче, потому что контроль за соблюдением технологических требований всегда жестче.

Я не перехвалил, наоборот, можно говорить об этой стороне производственных секретов еще больше.

Но, конечно, самое главное – это роль женщины в становлении человека, начиная с момента рождения. О способности женщин быть путеводной звездой и строить характер своего ребенка мы тоже знаем из каждодневного опыта, начиная с того момента, когда мы сами научились ходить.

Спасибо вам, дорогие женщины, за ваш труд, который для вас является обыденным, кажется природной обязанностью, но делает всех нас взрослыми, способными снова продолжать род человеческий.

В заключение приведу теплые, душевные строки казахского поэта Туманбая Мулдағалиева, обращенные к Матери, и песню о женщинах-горняках видного ученого, канд. техн. наук, старшего научного сотрудника ИПКОН РАН, члена Союза писателей РФ Милетенко Натальи Александровны (г. Москва), музыку к которой написала Любовь Доронина – зам. Председателя НП «Ассоциация горнопромышленников Карелии».

Тұманбай Молдағалиев

*Құлайын деп бара жатам құлдырап,
Көңілім жүдеп, көзім алды бұлдырап,
Сол кезде бір ән естимін жақыннан,
Аққан бұлақ секілденген сылдырап.
Есім жиып, өз бойымды тік ұстап,
Тіріліктің әуенімен тыныстап,
Сергимін де, сезім гүлін құлпыртам,
Кел дегендей болады бір куміс бақ.
Сендім-ау деп, өлдім-ау деп ышқынып,
Қалған кезде бойымдағы күш бұғып,
Сөнбейсің деп дауыстайды анашым,
Мен орнымнан жығыламын үш тұрып.
Ойнап шығам содан кейін құрақтай,
Жарқылдаймын жүрегімді жылатпай,
Мүмкін, мүмкін ана махаббаты шығар бұл,
Мені сүйеп келе жатқан құлатпай.*

ГИМН ассоциации WIMI Russia

Когда на небе занимается заря,
С утра и в ночь, и в зной, и в непогоду, –
Чтобы стране дать нефти и угля,
Энергию – для своего народа,

*Идет своей прекрасною стезей
Талантлива, умна, всегда красива,
С любовью к делу с золотой душой
Земная женщина – как мир неповторима!*

Подвластна индустрия сил земных
Ей на подстанциях, на фабриках, карьерах,
На шахтах угольных и копиях золотых,
В лабораториях, в расчетах и замерах!

*Идет своей прекрасною стезей
Талантлива, умна, всегда красива,
С любовью к делу с золотой душой
Земная женщина – как мир неповторима!*

Ее пытливому уму придет ответ,
По силам будет ей нелегкая задача,
И в руководстве ей, порою, равных нет –
С ней под руку умение и удача!

*Идет своей прекрасною стезей
Талантлива, умна, всегда красива,
С любовью к делу с золотой душой
Земная женщина – как мир неповторима!*

Пусть будет славен миром на века
Труд важный в современной индустрии!
И в том труде любовь большая есть
Прекрасной женщины – для мира и России!

*Идет своей уверенной стезей
Талантлива, умна, всегда красива,
С любовью к делу с золотой душой
Земная женщина – как мир неповторима!*

Автор слов Милетенко Наталья, канд. техн. наук, с.н.с. ИПКОН РАН, член Союза писателей России. Автор мелодии Любовь Доронина, зам. Председателя НП «Ассоциация горнопромышленников Карелии».

И еще строки, достойно отражающие участие женщин в нашей горняцкой профессии от Н.А. Милетенко:

*Женщина горной отрасли –
как тверди земной душа
Женщина дела горного
умом и душой хороша!
Ей недра Земли покоряются –
добыча идет на гора,
Красавицы горной отрасли –
в делах – королевы всегда!
Умеет стихи подземные
она просчитать, усмирять
Быть может наставником, лидером
любые задачи решать.
В час трудных путей исполнения
поддержит, подскажет, поймет,
Ведь женщина в горной отрасли
дорогой достойной идет.*

Редакционная коллегия и горная общественность присоединяются ко всему сказанному в прозе и в стихотворно-песенной форме, в которых были высказаны и восхищение, и благодарность, и поздравления в честь праздника весны и пробуждения природы, которые зависят в первую очередь от женщин!

ЭКСПЕРТ В ОБЛАСТИ ГОРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ АМАН ШАКЕНОВ: ЕГО МЕТОДИКИ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В СФЕРЕ ГОРНОГО ТРАНСПОРТА В КАЗАХСТАНЕ

Транспортировка горной массы большегрузными автосамосвалами играет ключевую роль в современной добыче полезных ископаемых. В условиях, когда месторождения становятся глубже, а содержание металла в руде снижается, эффективная и экономичная транспортировка больших объемов горной массы приобретает первостепенное значение.

В этой связи, особое внимание заслуживает деятельность **Амана Шакенова**, признанного эксперта в области горной инженерии и горного транспорта, генерального директора компании «Борусан Макина Казахстан» – официально-го дилера CATERPILLAR. Эксперт Шакенов активно внедряет современные технологии и методики, направленные на снижение себестоимости перевозки горной массы и на повышение эффективности и безопасности таких перевозок в Казахстане. Его инновационные подходы к оценке состояния карьерных дорог и применению цифровых технологий открывают новые горизонты для горнодобывающих предприятий, стремящихся к устойчивому развитию и повышению прибыльности.

Образование и карьера

Аман Шакенов окончил Экибастузский горный техникум. Впоследствии он получил высшее инженерное образование в Казахском Национальном Исследовательском Техническом университете им. К.И. Сатпаева (КазНИТУ), где он окончил обучение с отличием и защитил степень Ph.D. Глубокие академические знания в области горного дела заложили прочную основу для его дальнейшей карьеры. В «Борусан Макина» он начал карьеру в 2004 году и занимал различные руководящие должности. С 2019 года г-н Шакенов возглавил «Борусан Макина Кыргызстан», а с 2022 года – «Борусан Макина Казахстан». Эти компании являются официальными дилерами крупнейшего мирового производителя строительной и горнодобывающей техники Caterpillar.

Инновации г-на Шакенова в горном транспорте

Одним из ключевых достижений Амана Шакенова и его команды стала разработка оригинальной методики оценки дефектов и характеристик карьерных технологических дорог. Эта методика открыла новые возможности для анализа влияния состояния дорог на элементы металлоконструкции карьерных самосвалов.

Данная оригинальная методология Шакенова позволяет анализировать такие параметры карьерных дорог, как уклоны, ширина, радиусы поворотов, а также боковые, поперечные и диагональные перекосы.

Особое внимание также заслуживает впервые внедренная Аманом Шакеновым технология автоматического спутникового нивелирования отвала автогрейдера при профилировании карьерных дорог. Этот метод позволяет формировать оптимальный профиль дорог с минимальными затратами, снижая требования к квалификации оператора автогрейдера.

Научная деятельность и перспективы

Разработанные Аманом Шакеновым технологии активно применяются на горнодобывающих предприятиях Казахстана и используются в учебном процессе в ведущих научных учреждениях страны, включая КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. Научные работы Шакенова, которые легли в основу его технологий и методологий, рецензированы и опубликованы в изданиях Национальной академии наук

Республики Казахстан, а также в Днепровском технологическом университете (Украина).

В ближайшие годы перед г-ном Шакеновым и его командой стоит задача активного внедрения цифровых технологий для укрепления позиций компании «Борусан Макина Казахстан» на рынке горного оборудования. В сотрудничестве с КазНИТУ эксперт Шакенов и его команда разрабатывают алгоритмы машинного обучения для искусственных нейронных сетей, позволяющие автоматизировать анализ данных о геолокации, тензометрии, скорости движения, загрузке, давлении и температуре шин, а также проводить лидарную топосъемку карьерных дорог.

«Состояние карьерных дорог – это показатель уровня производственной культуры горного предприятия. Улучшение их состояния с использованием цифровых технологий поможет горнодобывающим компаниям достичь целей устойчивого развития и повысить прибыльность», – отмечает эксперт Аман Шакенов.

Кроме того, Аман Шакенов ведет работу по разработке образовательных программ и семинаров для горнодобывающих предприятий, а также учебных и исследовательских институтов. Эти инициативы эксперта Шакенова позволят значительно повысить эффективность эксплуатации карьерного транспорта и снизить уровень выбросов CO₂.

Заключение

Инновационные подходы эксперта Шакенова к оценке и улучшению состояния карьерных дорог, включая впервые внедренную технологию автоматического спутникового нивелирования отвала автогрейдера при профилировании карьерных дорог, демонстрируют стремление





г-на Шакенова к повышению эффективности, безопасности и устойчивости горнодобывающих предприятий.

Эксперт Шакенов активно внедряет цифровые технологии, включая алгоритмы машинного обучения и лидарную топосъемку, чтобы автоматизировать анализ данных и оптимизировать процессы эксплуатации карьерного транспорта. Его научные работы свидетельствуют о его глубокой научной компетенции и фундаментальной теоретической базе.

Аман Шакенов не просто возглавляет крупную компанию «Борусан Машина Казахстан», он является визионером, чьи инновационные решения и научные разработки позволяют горнодобывающим предприятиям Казахстана достигать целей устойчивого развития, повышать прибыльность и снижать воздействие на окружающую среду. Вклад г-на Шакенова в улучшение состояния карьерных дорог, которое он справедливо считает показателем производственной культуры горного предприятия, делает его одним из ведущих специалистов в области горной инженерии, формирующих будущее горного транспорта в Казахстане.

Материал подготовлен Долиной Т.С.

XXXIII Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ

XV Международная специализированная выставка

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

X Международная специализированная выставка

НЕДРА РОССИИ

VI Специализированная выставка

ПРОМТЕХЭКСПО

3-6 июня 2025



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

ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС!
ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!



ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ДОКАЗАННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ



ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными возможностями для обеспечения вашего предприятия надежными и эффективными решениями в технологиях дробления и измельчения.



ME FIT Grinding

Изнашиваемые детали для мельниц
и дробилок всех типов

- | | |
|-----------------------|----------------|
| ■ Полусамоизмельчения | ■ Гирационных |
| ■ Самоизмельчения | ■ Щековых |
| ■ Шаровых | ■ Конусных |
| ■ Стержневых | ■ Вертикальных |

ME Elecmetal

тел.:

+7 914 880 4545
+7 777 247 0787
+1 778 875 7525

mongolia@me-elecmetal.com
www.me-elecmetal.com

ПРОРЫВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕГИОНА: ЧЕМ ESAB УДИВЛЯЕТ ПРОМЫШЛЕННИКОВ В 2025 ГОДУ

Экономика Центральной Азии демонстрирует устойчивый рост, что обусловлено расширением производственных мощностей, модернизацией технологической базы и активной интеграцией с международным рынком. В этих условиях потребность в современном и эффективном оборудовании становится не просто важным аспектом, а стратегическим фактором развития. Использование передовых технологий позволяет предприятиям значительно повысить производительность, оптимизировать использование ресурсов, минимизировать затраты и выпускать продукцию, соответствующую высоким международным стандартам.

Рост ВВП Казахстана за январь-февраль 2025 года составил 5,4%, Узбекистана 6%, Кыргызстана 10,7%. При этом промышленное производство в Казахстане увеличилось на 2,3%, в Узбекистане на 4,3%, в Кыргызстане на 14,7%.

Страны Центральной Азии все больше привлекают внимание глобальных компаний, которые видят не только потенциал развития, но и растущий спрос на качественное оборудование, соответствующее современным вызовам и тенденциям. Одна из них – ESAB – мировой производитель оборудования и материалов для сварки и резки металлов.

Компания начала сотрудничество с предприятиями региона в 2007 году, и на протяжении всего времени непрерывно развивается, отвечая на вызовы динамично растущего промышленного сектора. За более чем 15 лет работы команда ESAB глубоко изучила специфику локальных рынков, научилась точно понимать потребности клиентов и укрепила партнерские отношения с ключевыми представителями отрасли.

В 2025 году ESAB уверенно продолжает свое развитие в регионе, внедряя передовые решения и поддерживая высокий уровень инноваций. В начале года компания уже представила рынку новые продукты, которые соответствуют требованиям современного промышленного сектора. Среди новинок – сварочный аппарат Transmig 500DP.

Промышленный инверторный источник тока Transmig 500DP подходит для сварки углеродистых, нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов. Источник выделяется высокой производительностью, готов работать непрерывно – буквально «24/7», при этом продолжительность нагрузки 100% на максимальном сварочном токе 500 ампер.

«Сварочный аппарат Transmig 500DP разработан с учетом задач, стоящих перед предприятиями судостроения, при работах со строительными металлоконструкциями, железнодорожным, грузовым и

пассажирским транспортом. Его функциональные возможности позволяют эффективно работать при производстве сосудов, резервуаров и емкостей», – рассказала **Екатерина Татарина**, директор ТОО ЭСАБ Казахстан, руководитель региона ЭСАБ Центральная Азия.

Аппарат оснащен режимами «импульс» и «двойной импульс», которые дают возможность выполнять сварку без брызг, обеспечивая при этом не только высокое качество, но и отличный внешний вид сварного шва. Синергетические программы для механизированной сварки в среде защитных газов (MIG/MAG) позволяют оптимизировать работу специалиста и способствуют эффективности как на большом промышленном производстве, так и в условиях средних предприятий. Transmig 500DP подходит не только для сварки в газовой смеси, но и в среде углекислого газа, для чего на корпусе встроена розетка 36В с возможностью подключения подогревателей.

«Промышленный инверторный источник тока Transmig 500DP активно используется в практике международных коллег, и мы уверены, что он будет востребован и в Центральной Азии. Удобство в работе, точность сварки и гибкость в настройках дают специалистам больше возможностей для решения производственных задач», – отметила **Екатерина Татарина**.



НАДЕЖНОСТЬ РАБОТ – В КАЧЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ

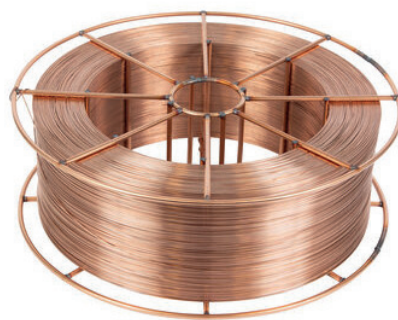
Сварочные работы включают множество технологических нюансов, влияющих на долговечность и надежность соединений. За результат отвечает не только производительность сварочного аппарата, квалификация специалиста, условия рабочего пространства. Не менее важную роль играет качество расходных материалов. Часто именно этот фактор не позволяет достигнуть желаемого результата.

Среди новинок 2025 года компания ESAB представила сварочную проволоку WELD G3Si1, разработанную для полуавтоматических сварочных аппаратов. Высокое качество омеднения, рядная намотка на катушки, стабильный диаметр по всей длине обеспечивают устойчивое горение проволоки с минимальным разбрызгиванием. Материал подходит как для сварки в среде углекислого газа, так и в смеси защитных газов.



«Сварочная проволока WELD G3Si1 уже показала хорошие результаты в Европе, и мы надеемся, что в Центральной Азии специалисты высоко оценят ее характеристики. Целевым потребителем мы видим массового покупателя, а также небольшие предприятия, специализирующиеся на работе с металлоконструкциями с пределом текучести до 420 МПа. Материал отличается доступностью и лег-

костью в использовании. При запуске продукта мы провели исследование. В нем участвовало 15 компаний. По результатам опроса WELD G3Si1 по 5-балльной шкале получила оценку 4,6 в критерии внешнего вида поверхности и 3,8 в разбрызгивании, что по рынку считается очень хорошим



показателем для бюджетного продукта», – поделился **руководитель направления ремонта и восстановление компании ESAB Давид Пак.**

На запуске премьер оборудования для сварки и резки металлов в начале года ESAB не останавливается. Впереди – еще много новинок для широкого круга заказчиков.

«Миссия ESAB в Центральной Азии – внести вклад в развитие региона, снабдив предприятия качественным оборудованием и материалами. Наша продукция помогает решать сложные и нестандартные производственные задачи, обеспечивая при этом безопасность, эффективность и надежность промышленных процессов. Широкий ассортимент оборудования и расходных материалов позволяет нам поддерживать как крупные производства, так и малый бизнес. Компания ESAB постоянно совершенствует технологии, вся продукция соответствует мировым стандартам качества. Впереди мы ожидаем выход на новые для нас рынки и еще большее содействие развитию промышленности Центральной Азии. В частности, в скором времени ожидаем запуск широкого ассортимента электродов: как для больших производств, так и для средних компаний и розничных покупателей», – **подытожила Екатерина Татаринова.**



Код МРНТИ 36.01.81

А.Е. Ормамбекова¹, Р. Щульц², *Д.М. Киргизбаева¹, Т.Б. Нурпеисова¹¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),²Университет нефти и полезных ископаемых имени короля Фахда (г. Дахран, Саудовская Аравия)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ИЗМЕРЕНИЙ ГНСС

Аннотация. В данном исследовании представлен инновационный метод мониторинга высотных сооружений, который основан на использовании неметрических камер и QR-кодированных мишеней с интеграцией глобальных навигационных спутниковых систем. Эта система характеризуется своей доступностью и возможностями, основанными на машинном зрении, что делает ее особенно подходящей для мониторинга различных инженерных объектов, включая высотные здания. Основой подхода является принцип относительных измерений, который применяется для определения смещений между парами изображений, полученных с неметрических камер, организованных во взаимосвязанные цепочки. Для обработки последовательностей изображений была реализована программа MatLab, использующая алгоритм фазовой корреляции. Проведенный анализ экспериментальных данных подтвердил, что предложенный метод способен обеспечить необходимую точность мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг деформации, ГНСС, машинное зрение, точность мониторинга, QR-мишень, фазовая корреляция.

ЖНСЖ өлшемдерін қоса алғандағы биік құрылыстарды бақылаудың автоматты жүйесінің тиімділігін бағалау
Аңдатпа. Бұл зерттеу метрикалық емес камераларды және ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді біріктіру арқылы QR-кодталған нысаналарды пайдалануға негізделген биік құрылымдарды бақылаудың инновациялық әдісін ұсынады. Бұл жүйе қол жетімділігімен және машиналық көру қабілетімен сипатталады, және де әртүрлі инженерлік нысандарды, соның ішінде көп қабатты ғимараттарды бақылауға өте қолайлы етеді. Тәсілдің негізі өзара байланысты тізбектерге ұйымдастырылған метрикалық емес камералардан алынған кескін жұптары арасындағы ығысуларды анықтау үшін қолданылатын салыстырмалы өлшеу принципі болып табылады. Кескін тізбегін өңдеу үшін фазалық корреляция алгоритмін қолдана отырып, MatLab платформасындағы бағдарлама арқылы жүзеге асырылды. Эксперименттік деректерді талдау ұсынылған әдіс қажетті бақылау дәлдігін қамтамасыз ете алатындығын растады.

Түйінді сөздер: деформация мониторингі, ЖНСЖ, машиналық көру, бақылау дәлдігі, QR нысаны, фазалық корреляция.

Automatic observation system efficiency assessment for high-rise structures including GNSS measurements

Abstract. Study presents an innovative method for monitoring high-rise structures, based on the non-metric cameras use and QR coded targets with global navigation satellite systems integration. System is characterized by accessibility and machine vision-based capabilities, making it particularly suitable for monitoring various engineering structures, including high-rise buildings. The approach is based on the relative measurements principle, applied to determine the displacements between images acquired pairs from non-metric cameras organized in interconnected chains. A program on MatLab platform using phase correlation algorithm was implemented to process the image sequences. Analysis experimental data confirmed that proposed method can provide the necessary monitoring accuracy.

Key words: deformation monitoring, GNSS, machine vision, monitoring accuracy, QR target, phase correlation, phase correlation.

Введение

Современное развитие материального производства, технологий строительства, их автоматизация, рост цен на землю в крупных городах привели к новому подходу к строительству и монтажу сложных геометрических конструкций, особенно высотных зданий. Этот факт усложняет задачу мониторинга здания в связи с необходимостью создания сети мониторинга датчиков, применением различных видов измерительной аппаратуры, а также высокой частотой наблюдений для получения и изучения кинематических и динамических свойств конструкции [1]. С другой стороны, наличие такой системы мониторинга позволит работать удаленно, без трудоемких полевых работ и дорогостоящего оборудования. Другими словами, среди различных видов мониторинга зданий важную роль играет наблюдение за геометрическими параметрами или мониторинг деформаций. Изменение геометрии здания приводит к снижению его функциональной определенности, возникновению и распространению трещин, что может привести к обрушению конструкции. Воздействие таких внешних нагрузок, как ветер, снег, лед, солнечная радиация, неустойчивый фундамент и т. д., приводит к колебаниям, кручению конструкций, их изгибу и крену [2]. Эти параметры могут менять свои значения ежедневно и сезонно и вызывать пространственные смещения на уровне десятков сантиметров. Рассмотрены геометрические

параметры деформации, которые необходимо определить при мониторинге деформаций высотного здания.

Наблюдения только с помощью ГНСС не способны точно отразить процесс деформации. Поэтому ГНСС в первую очередь следует рассматривать как дополнительный источник данных для определения вертикального смещения конструкции. Однако для понимания причин этих смещений и получения более полной картины деформационного процесса необходимо проводить дополнительные измерения вдоль конструкции. Простым способом преодоления ограничений ГНСС является интеграция этой технологии с другими геодезическими или негеодезическими методами и оборудованием [3, 4].

В геодезии разработано множество методов для измерения деформаций конструкций в заданных направлениях. Наибольшее распространение получили наземные геодезические измерения, спутниковые технологии и фотограмметрия. К основным методам относятся спиртовое и гидростатическое нивелирование, а также тахеометры для определения пространственных перемещений. Другие методы включают наземное лазерное сканирование и радиолокационную интерферометрию. Хотя эти технологии хорошо изучены, они трудоемки, требуют квалифицированного персонала и плохо автоматизируются [5].

Для повышения эффективности мониторинга деформаций, ГНСС был успешно интегрирован с наземными

геодезическими методами и датчиками. Несмотря на высокую частоту наблюдений, применение ГНСС ограничено количеством точек и необходимостью открытого неба для спутников. Для решения этих проблем ГНСС объединяется с другими датчиками, такими как акселерометры и инклинометры. Кроме того, ГНСС используется в фотограмметрии, где изображения служат основным источником данных для анализа смещений высотных зданий [6].

На основе проведенного анализа предложено установить недорогие цифровые камеры, работающие в автоматизированном режиме, организованные во взаимосвязанную систему. ГНСС будет использоваться как дополнительный источник данных для внешней привязки и управления. Система будет проста в установке и эксплуатации, обеспечивая высокую надежность благодаря резервированию измерений и не требуя профессионального обслуживания, а также возможна интеграция в BIM [7].

Целью исследования является представление концепции системы наблюдения на основе машинного зрения с использованием ГНСС. Система включает фотограмметрию для калибровки изображений, компьютерное зрение для их обработки, геодезию для присвоения координат и корректировочный расчет для анализа результатов. Этот подход позволяет получить комплексную информацию о деформации конструкции, снижая ошибки и повышая точность определения перемещений. Для более эффективного мониторинга рекомендуется размещать системные цепи вдоль главных осей конструкции [8].

Материалы и методы исследования

Предложенный метод позволяет определять изменение геометрических параметров конструкции под воздействием внешних факторов или нагрузок и в дальнейшем прогнозировать перемещения в заданную эпоху наблюдений. Подход основан на принципе относительных измерений, реализованном для нахождения смещений между парами изображений с неметрических камер, организованных в систему взаимосвязанных цепочек. Предложено определять смещения между изображениями для разных эпох с помощью алгоритма фазовой корреляции, обеспечивающего быстродействие решения и достоверные результаты. Был подготовлен экспериментальный стенд и проведена серия измерений для моделирования работы одной цепи систем наблюдения на основе машинного зрения. Реализована программа обработки последовательности изображений в среде программирования MatLab с использованием алгоритма фазовой корреляции. Проведен анализ результатов эксперимента. Результаты анализа позволили сделать вывод о том, что предложенный подход может быть успешно реализован при соблюдении требований к точности мониторинга. Проведено моделирование работы системы наблюдения на основе машинного зрения с оценкой точности. Результаты моделирования подтвердили высокую эффективность предложенной системы [8].

Результаты исследования и обсуждение

Экспериментальная методика исследований сводилась к следующим этапам:

1) Моделирование деформаций объекта в лабораторных условиях.

2) Проведение экспериментальной апробации цикла методики:

- сбор геопространственной информации о высотных объектах машинного зрения с помощью ГНСС;

- представление данных ГНСС в виде цифровой модели (на 1 цикле наблюдений);

- кластеризация данных машинного зрения с помощью ГНСС для ведения мониторинга деформационных процессов;

- создание ортоизображений для визуальной оценки конструктивных изменений и выявления локальных зон деформирования.

3) Сбор и анализ результатов.

В рамках предложенной идеи датчики системы наблюдения машинного зрения разместили вдоль взаимно перпендикулярных осей и плоскостей контролируемой конструкции, как показано на рис. 1. Такая конфигурация позволит на этапе анализа данных различать эффекты кручения, прогиба и крена, что является важной задачей при мониторинге высотных зданий [4]. Конструктивная концепция системы включает в себя определение как относительных, так и абсолютных перемещений. Для контроля абсолютных перемещений необходимо установить внешнюю систему координат, которая фиксируется с помощью целей, размещенных на стабильных окружающих объектах, а также с использованием ГНСС-наблюдений на вершине здания. Координаты этих целей определяются с помощью измерений тахеометра или, в некоторых случаях, с помощью ГНСС.

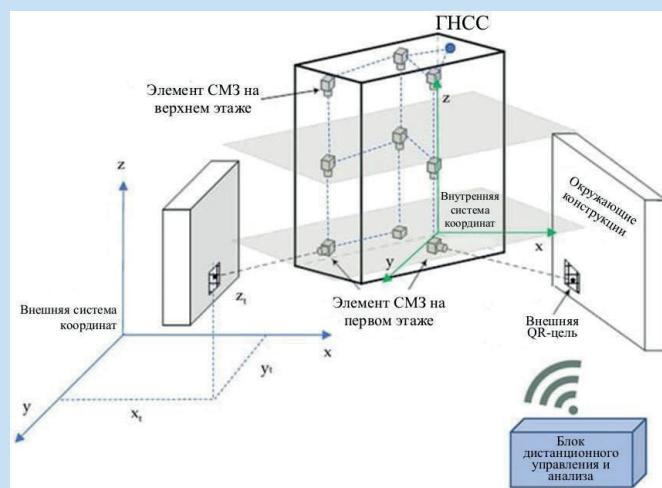


Рис. 1. Общая концепция системы наблюдения на основе машинного зрения и его установки.

Сурет 1. Машиналық көру және оны орнату негізінде бақылау жүйесінің жалпы тұжырымдамасы.

Figure 1. General concept of machine vision based surveillance system and its installation.

Каждый датчик системы включает в себя QR-цель, карту памяти, блок обработки изображений, блок передачи данных и длиннофокусную линзу. Эти компоненты могут быть расположены по-разному в зависимости от место-

положения датчика. Кроме стандартных модулей, камера должна иметь модуль для быстрой передачи данных, позволяющий передавать изображения со всех датчиков. В качестве мишени предлагается использовать QR-код со встроенными светодиодами, что повысит его видимость и позволит включить в код необходимую информацию, такую как идентификатор цели и координаты.

Датчики могут быть организованы в цепочку двумя способами: «датчик к датчику» или «датчик – цель – датчик». В соответствии с предложенными схемами размещения, каждая пара датчик-мишень считается отдельной цепочкой, независимо от того, где расположена цель (на камере или отдельно). В первом варианте наблюдения ведутся от датчика к датчику, каждый из которых оснащен QR-мишенью. Эта схема подходит для небольших сооружений; в противном случае рекомендуется более сложная схема наблюдения, при которой датчики связаны с помощью двусторонних QR-мишеней. В любом случае, на первой эпохе наблюдений датчики и цели должны быть выровнены по горизонтали и вертикали. Система машинного зрения может быть встроена в коммуникационные линии здания или установлена снаружи и соответствующим образом защищена от пыли и влаги.

Так как в предлагаемом методе мониторинга используются цифровые камеры, необходимо изучить технические характеристики оптической системы для оценки влияния расстояния между датчиками или между датчиком и QR-мишенью. QR-мишень должна быть четко видна, поэтому разрешение изображения имеет большое значение.

Размер видимой области изображения и разрешение камеры зависят от различных параметров, таких как расстояние до объекта и характеристики объектива. Если смотреть через камеру, она фиксирует только определенную часть сцены, называемую видимой областью. Угол, под которым камера видит эту область, можно рассчитать с помощью формулы. Однако для прямоугольных изображений использовать угол обзора не всегда правильно, так как пиксели могут искажаться. Разрешение камеры, то есть как четко она может видеть детали, зависит от размеров матрицы (пикселей) и расстояния до объекта. В реальности на качество изображения влияют не только параметры матрицы, но и объектив камеры, который может снижать четкость. Чтобы качественно увидеть объект, его размер должен составлять как минимум три пикселя. Так же производился расчет ошибок в разрешении при различных расстояниях до объекта. Таким образом, важно учитывать все эти аспекты, чтобы правильно оценить качество изображения, получаемого с помощью камеры.

Для определения смещения цели в изображении используется метод, при котором каждое новое изображение, полученное с камеры, принимается за эталонное. В качестве входного изображения используется шаблон отслеживаемой цели.

Первоначально на первом изображении определяется центр цели, обозначая его координатами. Затем, когда камера делает новые снимки, определяем центр цели на каждом из этих изображений. Сравнивая положение центра на эталонном изображении и на новых изображениях, можно определить, насколько сместилась цель в ко-

ординатной системе изображения. Это позволяет понять, в каком направлении и на сколько изменилась позиция цели [5].

Для получения точных данных о смещении необходимо учитывать, что камера сама может двигаться. Поэтому, чтобы исключить влияние перемещения камеры, смещение цели должно быть преобразовано относительно центра каждого изображения в наборе. Это означает, что в расчет берется положение центра каждого снимка и используется как основа для вычислений.

Кроме того, важно знать разрешение изображения, т. е. сколько пикселей находится в каждом миллиметре изображения. Используя это разрешение, можно преобразовать смещения в пикселях в реальные смещения в миллиметрах. Таким образом, вся процедура включает в себя сравнение изображений, вычисление смещений и перевод этих значений в реальные размеры, что позволяет получить точную информацию о перемещении цели в пространстве.

В данном исследовании акцент делается на проверку теоретических основ работы системы машинного зрения, используя экспериментальные измерения. Система наблюдения состоит из камеры, которая должна быть предварительно откалибрована для точного захвата изображений. Процесс калибровки включает в себя определение таких параметров, как фокусное расстояние и искажения объектива, что критично для обеспечения качества получаемых изображений.

Для эксперимента был построен испытательный стенд, разработанный для этого исследования, который предоставляет возможность точно управлять перемещением QR-мишени, что важно для симуляции реальных условий. Изображения фиксируются автоматически, что минимизирует человеческий фактор и повышает стабильность результатов. Кроме того, исследование проводилось при различных расстояниях до камеры, что позволяет оценить влияние расстояния на качество измерений.

Обработка полученных изображений осуществлялась с помощью алгоритма фазовой корреляции, который позволяет анализировать изменения в изображениях и определять смещения. Полученные результаты фиксируют, что в процессе измерений наблюдаются ошибки, которые коррелируют с размерами смещения. Это подчеркивает важность тщательной калибровки и точности настроек камеры, а также автоматизации процесса захвата изображений.

В исследовании внимание сосредоточено на оценке точности системы машинного зрения для различных типов зданий, полученные результаты служат основой для теоретического понимания работы системы в реальных условиях.

Моделирование проводилось для двух зданий с различной высотой, что позволяет увидеть, как высота влияет на точность измерений. Для первого здания с небольшой высотой (90 м) не использовались измерения ГНСС, так как это не требовалось. Для оценки случайных ошибок измерений применили метод Монте-Карло и провели моделирование, чтобы увидеть, как система будет работать на практике.

Выражения по формуле (1) позволяют вычислить точность для многоцепочной автоматической системы

наблюдения и сравнить эти значения с допустимыми значениями.

Точность по осям x и y равна m . Результирующая точность будет зависеть от количества цепей k , используемых для измерений. Исходя из этой предпосылки, конечная точность M может быть определена как:

$$m_x = m\sqrt{k}; m_y = m\sqrt{k}; M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (1)$$

где M – конечная точность;

m – результирующая точность;

m_x, m_y – точность по осям x и y ;

k – количество цепей в системе.

Результаты исследования показывают, что многоцепочная автоматическая система наблюдения, вероятно, способна обеспечить требуемую точность для мониторинга зданий высотой свыше 500 метров. Основной акцент должен быть сделан на повышение эффективности автоматической системы наблюдения для высотных зданий. Включение измерений ГНСС изменяет окончательное распределение среднеквадратичных ошибок. Тем не менее, наши результаты не могут быть обобщены за пределами рассмотренного [4] подмножества, поскольку предложенный выше подход к расчету не учитывает эффект взаимосвязанных измерений, как показано на рис. 2.

На рис. 1 синими точками обозначены места установки датчика. Стрелками обозначены направления измерения. Точки 10, 11, 12 и 13 являются целями на окружающих объектах, определяющими внешнюю систему координат. Эти точки приняты как безошибочные, но точность их определения также была оценена. Моделирование выполнено методом Монте-Карло для нормального (гауссовского) распределения. Погрешности измерений считались случайными с нулевым средним значением, поэтому систематических или грубых ошибок не было. Результаты моделирования представлены на рис. 1а и 1б. В таблице 1 представлена зависимость точности между длиной цепи и высотой здания.

На рис. 3 приведена графическая сводка результатов из таблицы 1. Горизонтальная ось описывает высоту здания, а вертикальная ось показывает распространение точности.

Таким образом, необходимо смоделировать измерения автоматической системы наблюдения, чтобы учесть избыточность измерений. Поэтому вторым шагом является анализ результатов моделирования в разделе.

Точность на каждом блоке усреднялась, и среднее значение точности принималось как окончательное для анализа. Эти значения сравнивали с допустимыми значениями (6). Кроме того, результаты моделирования позволяют оценить два режима измерения: относительный и абсолютный [9].

Как видно на рис. 4, результаты моделирования дают более реалистичную картину точности автоматической системы наблюдения [10]. Конечная точность повысилась благодаря учету избыточности измерений. Таким образом, автоматическая система наблюдения обеспечивает надежное определение параметров мониторинга, начиная с высоты 90 м для абсолютных измерений. Очевидно, что

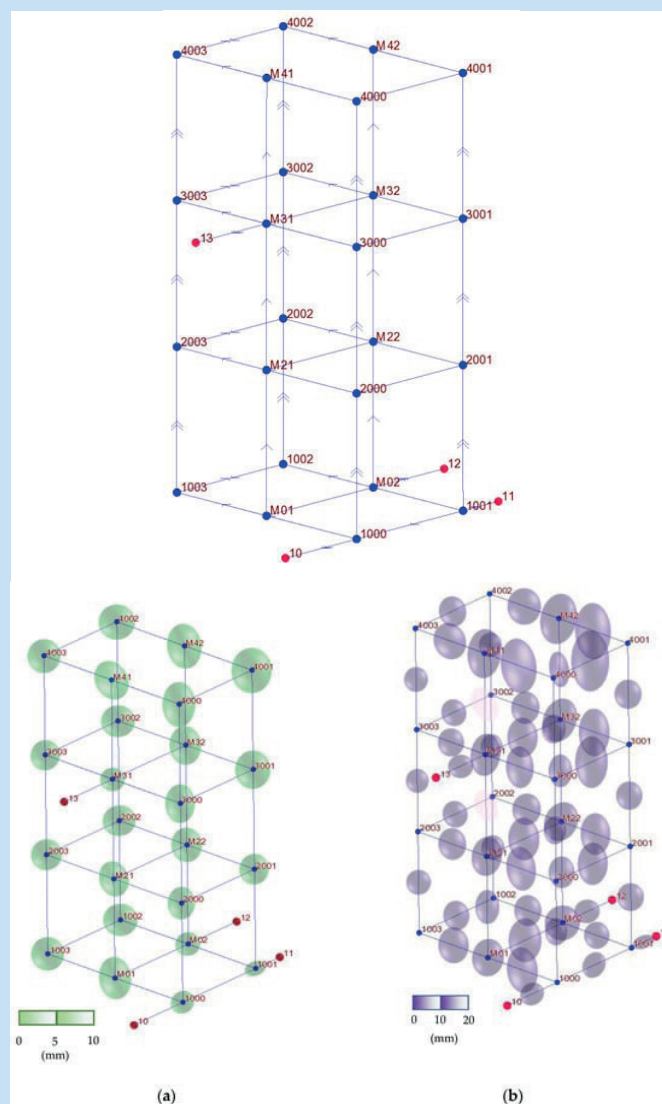


Рис. 2. Тест геометрии здания, размещения датчика и мишени, а также направления измерений. Эллипсы ошибок определения координат: (а) – эллипсы точности определения координат точки; (б) – эллипсы относительной точности координат точек.

Сурет 2. Ғимараттың геометриясы, сенсор мен мақсатты орналастыру және өлшеу бағытын тексеру. Координаттарды анықтаудағы қате эллипстері: (а) – нүкте координаттарын анықтаудағы дәлдік эллипстері; (б) – нүкте координаттарының салыстырмалы дәлдік эллипстері.

Figure 2. Test of building geometry, sensor and target placement, and measurement direction. Ellipses of coordinate determination errors: (a) – ellipses of point coordinate accuracy; (b) – ellipses of relative accuracy of point coordinates.

установка автоматической системы наблюдения для не-высокого здания бесполезна, а обычные геодезические методы обеспечивают необходимую точность и хорошо изучены. Гораздо сложнее обстоят дела с более высокими зданиями [8].

Для оценки эффективности автоматической системы наблюдения для высотных конструкций с включением из-

Таблица 1

Зависимость точности между длиной цепи и высотой здания

Кесте 1

Тізбектің ұзындығы мен ғимараттың биіктігі арасындағы дәлдіктің байланысы

Table 1

Dependence of accuracy between chain length and building height

Расстояние от датчика до цели (м)	Высота здания (м)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
	Точность смещения M (мм)								
17	13.5	19.2	23.5	27.1	30.3	33.2	35.8	38.3	40.6
25	9.8	13.8	16.9	19.5	21.8	23.9	25.8	27.6	29.3
33	7.3	10.3	12.6	14.5	16.2	17.8	19.2	20.5	21.8
Допустимое значение	3.3	6.7	10.0	13.4	16.7	20.0	23.4	26.7	30.0

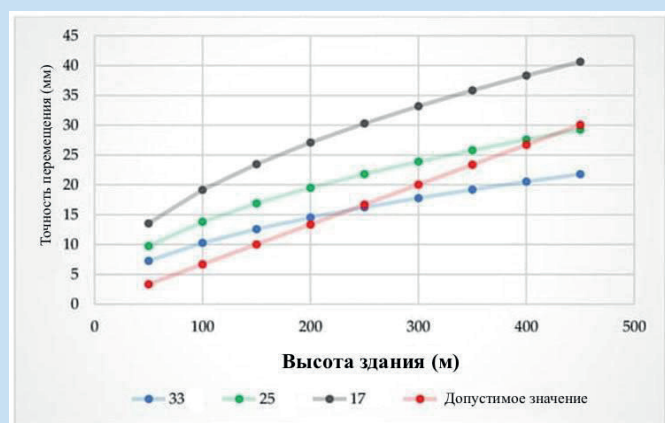


Рис. 3. Распространение точности автоматической системы наблюдения.

Сурет 3. Автоматты бақылау жүйесінің дәлдігін тарату.

Figure 3. Accuracy propagation of the automatic surveillance system.

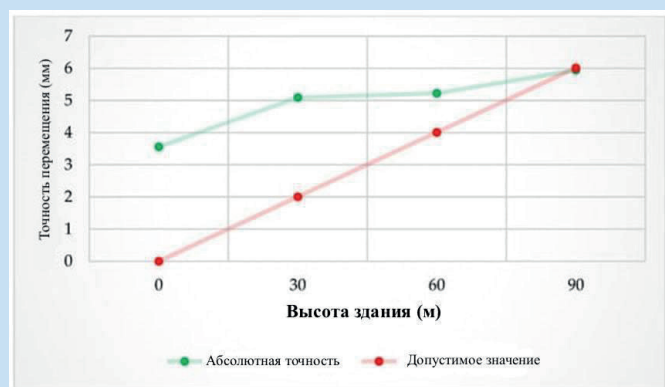


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования.

Сурет 4. Модельдеу нәтижелерін салыстыру.

Figure 4. Comparison of modeling results.

мерений ГНСС было выполнено моделирование для здания высотой 420 м. Численные результаты предварительной точности огромного числа точек отражены на графиках. Для этого среднеквадратичные ошибки определения

координат вдоль оси координат для случая абсолютных измерений, сопровождаемых ГНСС, для каждого этажа были усреднены и сравнены на рис. 5.

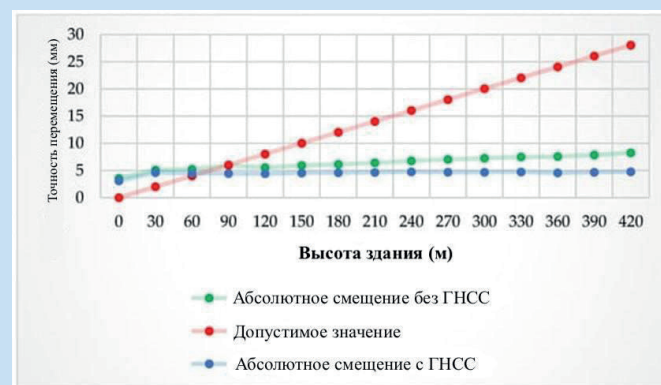


Рис. 5. Сравнение результатов моделирования для случая, сопровождаемого ГНСС.

Сурет 5. ЖНСЖ сүйемелдеуімен модельдеу нәтижелерін салыстыру.

Figure 5. Comparison of modeling results for the case accompanied by GNSS.

Результаты моделирования автоматической системы наблюдения с помощью ГНСС отличаются от результатов моделирования только автоматической системой наблюдения. Можно сделать несколько выводов. Во-первых, благодаря ГНСС-наблюдениям, точность автоматической системы наблюдения сохраняется практически на одном уровне для всей конструкции. Этот эффект нарастает с увеличением высоты сооружения до тех пор, пока ГНСС не ограничит распространение ошибок в автоматической системе наблюдения. Во-вторых, как и ожидалось, автоматическая система наблюдения с ГНСС может обеспечить необходимую точность, начиная с 60 м. Мы получили взвешенное значение точности для высоких конструкций благодаря комбинированной корректировке. Таким образом, результаты моделирования доказали высокую эффективность разработанной системы наблюдения на основе машинного зрения с помощью ГНСС для мониторинга деформаций высотных зданий.

Заклучение

В этом исследовании был предложен новый подход к мониторингу высотных зданий с использованием доступной системы неметрических камер с помощью ГНСС. Проверка точности одиночной цепи автоматической системы наблюдения на испытательном стенде подтвердила возможность обеспечения необходимой точности контроля. Предложенный метод определения смещения пары изображений на основе алгоритма фазовой корреляции показал стабильные результаты в серии натурных экспериментов. По результатам эксперимента были изучены и определены достаточные расстояния между датчиком и мишенью, обеспечивающие приемлемую точность. Моделирование автоматической системы наблюдения проводилось для двух случаев: без ГНСС для малоэтажных зданий; автоматической системы наблюдения с дополни-

тельными ГНСС наблюдениями. Моделирование показало необходимую точность для мониторинга деформаций в случае автоматической системы наблюдения с помощью ГНСС. Результаты, представленные в этой статье, были в основном ограничены имитационным исследованием. В дальнейших исследованиях требуется оценить возможности применения автоматической системы наблюдения в условиях измененной геометрии. Полное внедрение автоматической системы наблюдения может стать незаменимой частью решений умного здания для обнаружения недопустимых перемещений в автоматическом режиме.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP23489372).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павлов В.И. Методы построения ортоизображений сложных архитектурных поверхностей по данным наземного лазерного сканирования // Известия ВУЗов, «Геодезия и аэрофотосъемка». 2011. № 6. С. 54–60 (на русском языке)
2. Shults R., Roshchyn O. Предварительное определение точности пространственного геодезического мониторинга для метода свободных станций // Геодезия и картография. 2016. Т. 42. № 2. С. 39–46 (на английском языке)
3. Таракановский В.К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций и грунтов оснований высотных зданий // Сб. науч. трудов. М.: 2011. Вып. 9. С. 243–262 (на русском языке)
4. Zschiesche K. Тахеометры на основе изображений для мониторинга состояния конструкций – обзор // Геоматика. 2022. Т. 2. № 1. С. 1–16 (на английском языке)
5. Нурпеисова М.Б., Ормамбекова А.Е., Ормамбеков Е.Ж. Наблюдения за деформациями высотных зданий и сооружений // Горный журнал Казахстана. 2020. № 6. С. 27–32 (на русском языке)
6. Охотин А.Л., Ормамбекова А.Е., Турсбеков С.В. Геодезические наблюдения за креном инженерных сооружений // Международный форум маркшейдеров, Караганда: КарГТУ, 2019. Т. 1. С. 70–75 (на русском языке)
7. Передовые топографо-геодезические изыскания и методологии ГНСС в градостроительстве / Madimarova G. [и др.] // Журнал де Грюйтер. 2024. № 1. С. 1–14 (на английском языке)
8. Roman Shults, Azhar Ormambekova, Yurii Medvedskij, Andriy Annenkov (22 февраля 2023 г.). Недорогая система наблюдения на основе ГНСС для мониторинга деформаций. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2813> (на английском языке)
9. Shults R., Bilous M., Ormambekova A., Nurpeissova T., Annenkov A., Akhmetov R. (24 сентября 2023 г.). Анализ смещений путепровода в результате просадки грунта при строительстве метро с помощью машинного обучения в области урбанистики. <https://www.mdpi.com/2413-8851/7/4/100> (на английском языке)
10. Budillon A., Schirinzi G. (Апрель 2022 г.) Дистанционный мониторинг гражданской инфраструктуры на основе TomoSAR. https://www.researchgate.net/publication/359785724_Remote_Monitoring_of_Civil_Infrastructure_Based_on_TomoSAR (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Павлов В.И. Жердегі лазерлік сканерлеу деректері бойынша күрделі архитектуралық беттердің орто кескінін салу әдістері // ЖОО хабаршысы, «Геодезия және аэрофототүсіріс». 2011. № 6. Б. 54–60 (орыс тілінде)
2. Shults R., Roshchyn O. Еркін станция әдісі үшін кеңістіктік геодезиялық бақылаудың дәлдігін алдын ала анықтау // Геодезия және картография. 2016. Т. 42. № 2. Б. 39–46 (ағылшын тілінде)
3. Таракановский В.К. Биік ғимараттардың құрылымдары мен топырақтарының жай күйін бақылаудың заманауи құралдарына шолу // Ғыл. жұм. Жиынтығы. М.: 2011. Шығ. 9. Б. 243–262 (ағылшын тілінде)
4. Zschiesche K. Құрылымдардың күйін бақылау үшін кескіндерді қолданатын тахеометрлер – шолу // Геоматика. 2022. Т. 2. № 1. Б. 1–16 (орыс тілінде)
5. Нурпеисова М.Б., Ормамбекова А.Е., Ормамбеков Е.Ж. Биік ғимараттар мен құрылыстардың деформацияларын бақылау // Қазақстанның кен журналы. 2020. № 6. Б. 27–32 (орыс тілінде)

6. Охотин А.Л., Ормамбекова А.Е., Турсбеков С.В. Инженерлік құрылыстардың оралуы бойынша геодезиялық бақылаулар // Халықаралық маркшейдерлер форумы, Қарағанды: ҚарMTU, 2019. Т. 1. Б. 70–75 (орыс тілінде)
7. Жетілдірілген топографиялық-геодезиялық түсірістер және қала құрылысындағы GNSS әдістемелері жетілдірді / Мадимарова Г. [және т. б.] // Де Грюйтер журналы. 2024. № 1. Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
8. Roman Shults, Azhar Ormambekova, Yurii Medvedskij, Andriy Annenkov. (2023 жылғы 22 ақпан). Деформацияны бақылауға арналған арзан ЖНСЖ негізіндегі қадағалау жүйесі. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2813> (ағылшын тілінде)
9. Shults R., Bilous M., Ormambekova A., Nurpeissova T., Annenkov A., Akhmetov R. (2023 жылғы 24 қыркүйек). Машиналық оқытуды қолдана отырып, метро құрылысы кезінде жердің шөгуге байланысты эстакадалардың жылжуын талдау. <https://www.mdpi.com/2413-8851/7/4/100> (ағылшын тілінде)
10. Budillon A., Schirinzi G. (2022 жылдың сәуірі). TomoSAR негізіндегі азаматтық инфрақұрылымды қашықтан бақылау. https://www.researchgate.net/publication/359785724_Remote_Monitoring_of_Civil_Infrastructure_Based_on_TomoSAR (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Pavlov V.I. Metody postroeniya ortoizobrazhenii slozhnykh arkhitekturnykh poverkhnostei po dannym nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Methods for constructing orthoimages of complex architectural surfaces based on terrestrial laser scanning data], *Izvestiya VUZov, «Geodeziya i aerofotos”emka»* [News of Universities, «Geodesy and aerial photography»]. 2011. No. 6. 54–60 pp. (in Russian)
2. Shults R., Roshchyn O. Preliminary determination of spatial geodetic monitoring accuracy for free station method // *Geod. List* 2016. V. 70. 355–370 pp. (in English)
3. Tarakanovsky V.K. Obzor sovremennykh sredstv monitoringa sostoyaniya konstruksii i gruntov osnovanii vysotnykh zdanii [Review of modern means of monitoring the condition of structures and soils of the foundations of high-rise buildings], *Sb. nauch. trudov* [Collection of scientific papers]. Moscow: 2011. Issue 9. 243–262 pp. (in Russian)
4. Zschiesche K. Image Assisted Total Stations for Structural Health Monitoring – A Review // *Geomatics*. 2022. V. 2. Issue 1. 1–16 pp. (in English)
5. Nurpeissova M.B., Ormambekova A.E., Ormambekov E.Zh. Nablyudeniya za deformatsiyami vysotnykh zdanii i sooruzhenii [Observations of deformations of high-rise buildings and structures], *Gornyi zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan]. 2020. No. 6. 27–32 pp. (in Russian)
6. Okhotin A.L., Ormambekova A.E., Tursbekov S.V. Geodezicheskie nablyudeniya za krenom inzhenernykh sooruzhenii [Geodetic observations of the roll of engineering structures], *Mezhdunarodnyi forum marksheiderov, Karaganda: KarGTU* [International Forum of Surveyors, Karaganda: KarGTU], 2019. V. 1. 70–75 pp. (in Russian)
7. Advanced topographic-geodetic surveys and GNSS methodologies in urban planning / Madimarova Gulmira [et al.] // Published by De Gruyter. 2024. No. 1. 1–14 pp. (in English)
8. Roman Shults, Azhar Ormambekova, Yurii Medvedskij, Andriy Annenkov. (February 22, 2023). GNSS-Assisted Low-Cost Vision-Based Observation System for Deformation Monitoring. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2813> (in English)
9. Shults R., Bilous M., Ormambekova A., Nurpeissova T., Annenkov A., Akhmetov R. (September 24, 2023). Analysis of Overpass Displacements Due to Subway Construction Land Subsidence Using Machine Learning Urban Science. <https://www.mdpi.com/2413-8851/7/4/100> (in English)
10. Budillon A., Schirinzi G. (April 2022). Remote Monitoring of Civil Infrastructure Based on TomoSAR. https://www.researchgate.net/publication/359785724_Remote_Monitoring_of_Civil_Infrastructure_Based_on_TomoSAR (in English)

Сведения об авторах:

Ормамбекова А.Е., доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), a.ormambekova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-2735-0257>

Шульц Р., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией дистанционного зондирования, авиации и космических исследований, Университет нефти и полезных ископаемых имени короля Фахда (г. Дахран, Саудовская Аравия), shults.rv@knuba.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

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

Нурпеисова Т.Б., к.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), t.nurpeissova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ортамбекова А.Е., техника ғылымдарының магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Шульц Р., техника ғылымдарының докторы, профессор, Король Фахд мұнай және минералдар университетінің қашықтықтан зондтау, авиация және ғарыштық зерттеулер зертханасының меңгерушісі (Дхахран қ., Сауд Арабиясы)

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

Нурпеиссова Т.Б., техника ғылымдарының кандидаты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Ormambekova A.E., Master of Technical Sciences, senior lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Schultz R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Remote Sensing, Aviation and Space Exploration, King Fahd University of Petroleum and Minerals, (Dhahran, Saudi Arabia)

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

Nurpeissova T., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Организатор:

окружной выставочный центр

* ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ *

Техническая поддержка:

EXPOTECH

MEMBER
OF THE RUSSIAN
UNION OF EXHIBITIONS
AND FAIRS



ЧЛЕН
РОССИЙСКОГО
СОЮЗА ВЫСТАВОК
И ЯРМАРОК



29.09 - 01.10

30 МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА

30th INTERNATIONAL
SPECIALIZED
TECHNOLOGICAL EXHIBITION

**СУРГУТ.
НЕФТЬ И ГАЗ
2025**

**SURGUT.
OIL & GAS
2025**

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

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

Код МРНТИ 36.23.27

А.С. Әбен¹, Х. Дай², *Ы. Жакыпбек¹, Б.Б. Күмісханова¹¹Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),²College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology (Пекин қ., Қытай)

ЭЛЕКТР ЖЕЛІ ТРЕКТЕРІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДЕГІ LIDAR ДЕРЕКТЕРІН ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

Аннотация. Электр тарату дәлізінің күрделі рельефі мен кең ауқымына, құрылымына байланысты, соңғы жылдары әуе кемесіндегі LiDAR жүйесі электр желілерін тексеру үшін маңызды құралға айналды. Сондықтан, мақалада электр желі тректерін қалпына келтірудегі LiDAR деректерін геодезиялық есептеу барысы қарастырылған. Сонымен қатар, мақалада кездейсоқ нүктелерді таңдау, қашықтықты бағалау, нүктелердің қатынасы, ең кіші квадраттар әдісін қолдану, итерациялар мен ең жақсы модельді таңдау тәсілдерін ұштастыра отырып есептеу жүргізіледі. Нәтижесінде әртүрлі электр тірек құрылымын қалпына келтіру деректері негізінде тіректің ұсақ бөлшектерін алудың орташа дәлдігі 98,5%, кері қайтарып алу 96,7% және F1-дің орташа көрсеткіші 97,6%-ды көрсетті. Орташа жұмыс уақыты – 0,9 с тең болды. Ал алгоритмнің орташа мәні мен орташа есептеу уақытын ескеріп, өте жоғары тиімді нәтижені көрсететіндігі дәлелденді.

Түйінді сөздер: геодезия, электр желісі, тіректер, LiDAR, қателіктер, дәлдік.

Geodetic calculation of LiDAR data in the reconstruction of power grid tracks

Abstract. Due to the complex terrain and wide range, structure of the power distribution corridor, in recent years, the LiDAR system on aircraft has become an important tool for checking power lines. Therefore, the article considers the course of analysis of the accuracy of errors in geodetic survey and mathematical processing in the restoration of power grid supports. In addition, the article provides a calculation of random point selection, distance estimation, point ratio, using the least squares method, combining iterations and methods for choosing the best model. As a result, the average accuracy of obtaining small parts of the rack was 98.5%, The recoil was 96.7% and the average F1 was 97.6%. It has been proven that the average operating time is 0.9 s. It has been proven here that the data for restoring various electrical support structures, taking into account the average value of the algorithm and the average calculation time, show a very high effective result.

Key words: Geodesy, electric grid, supports, LiDAR, errors, accuracy.

Геодезическое решение данных LiDAR при реконструкции опор линии электропередач

Аннотация. Из-за сложной местности и широкого диапазона, структуры коридора распределения электроэнергии в последние годы система LiDAR на воздушном судне стала важным инструментом для проверки линий электропередач. Поэтому в статье рассмотрен ход анализа точности ошибок при геодезической съемке и математической обработке при восстановлении опор электросети. Кроме того, в статье проводится расчет в сочетании с выбором случайных точек, оценкой расстояния, соотношением точек, использованием метода наименьших квадратов, итерациями и способами выбора наилучшей модели. В результате средняя точность извлечения мелких деталей стойки составила 98,5%, отзыв – 96,7%, а средний показатель F1 – 97,6%. Доказано, что среднее время работы – 0,9 с. Также было доказано, что данные восстановления различных электрических опорных структур показывают очень высокий эффективный результат с учетом среднего значения алгоритма и среднего времени расчета.

Ключевые слова: геодезия, электросеть, опоры, LiDAR, погрешности, точность.

Кіріспе

Энергия өндіретін және электр энергиясын тасымалдайтын қондырғылар қазіргі өркениеттің жұмыс істеуін қамтамасыз ететін маңызды құрамдастардың бірі болып табылады. Электр энергиясын беру жүйесінің қауіпсіздігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін электр тарату дәлізін үнемі тексеріп отыру қажет. Электр тіректері көбінесе жоғары вольтты, таулы өңірлерде және негізгі коммуникацияларға жақын орналасады. Сондай-ақ, әуе желілерінің зақымдануы мен үзілген сымдар адам өмірі үшін өте қауіпті, әрі оларды тексеріп бақылауды дәстүрлі әдіспен жүргізу тиімсіз болып саналады. Сондықтан, соңғы жылдары әуе кемесіндегі LiDAR жүйесі арқылы электр желілерін тексерудің маңыздылығы артуда, электр желілерінің аэрофотосуреттерін, сондай-ақ үш өлшемді нүктелер бұлтын жоғары дәлдікпен және тығыздықпен тікелей алуға мүмкіндік береді.

Электр беру желілерін пайдалану және техникалық қызмет көрсету кезінде борттық лидарларды қолдануда негізінен нүктелер бұлтындағы шуды азайтуға, оларды сегментациялауға, жіктеуге және қуат элементтерін үш өлшемді қайта құруға бағытталған [1–5]. Сондықтан электр дәлізіндегі тіректердің автоматты жіктелуі нәтижесінде нүктелер бұлтында қосалқы компоненттер мен қателіктер кездеседі. Олар өсімдіктер, топырақ, оқшаулағыш кабельдер немесе дренаждық желілердің әсерінен туындайды. Бұл қателіктер тіректерді құрылымдық талдау мен олардың қайта құрылу дәлдігіне әсер етеді. Сондықтан тіректердің нүктелер бұлтын дәл анықтау үшін өңдеуде PCA (Principal Component Analysis), аймақтық өсу

мен RANSAC (Random Sample Consensus) алгоритімдік әдістерін біріктіріп, тазарту және құрылымдық нақтылау жұмыстары орындалады. Сондай-ақ, электр тіректерін қайта қалпына келтіруде нақты пішімін қалыптастыруда нүктелер бұлты деректерін сызықтық сәйкестендіру жүргізіледі. Мұнда ең кіші квадраттар (Least Squares Method), негізгі компоненттер (Principal Component Analysis, PCA), Iterative Closest Point (ICP), Procrustes Analysis, RANSAC (Random Sample Consensus) және салмақталған ең кіші квадраттар әдістері (Weighted Least Squares, WLS) жиі қолданылады [6–11].

Сондықтан, мақалада сызықтық сәйкестендірудің әдістерін қолданып, электр желі тіректерін қалпына келтіруде LiDAR деректерінің кездейсоқ нүктелерін таңдау, қашықтықты бағалау, нүктелердің қатынасын анықтау, орташа сәйкестік әдісі қатесін анықтау арқылы ең қолайлы сызықтық теңдеу таңдалынып, PCA алгоритмінде түзу сызықтың бағыты барлық нүктелердің максималды проекциясын алуға, электр тірегінің контур нүктелерін сызықтық сәйкестендіру үшін RANSAC әдістерін қолданып, геодезиялық есептеулер жүргізіледі.

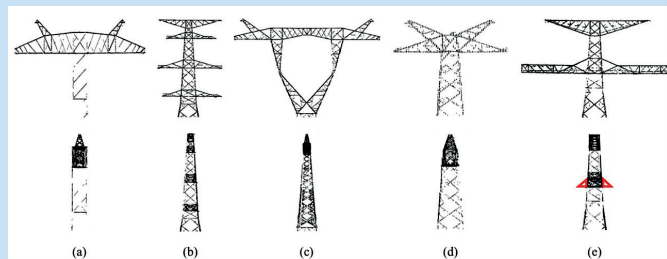
Зерттеу әдістері және материалдары

Электр желі тректерін қалпына келтірудегі LiDAR деректерін геодезиялық есептеуде электр тірегінің жоғарғы жағындағы нүктелер бұлтын алуда ең алдымен контур нүктелері таңдалады, содан кейін сызықтық теңдеуді сәйкестендіру орындалады. Сызықтық сәйкестендіруде ең кіші квадраттар әдісінде барлық нүктелерді есепке алады, оны шуға сезімтал етіп, дәлдігін төмендетеді. Ал PCA

алгоритмінде түзу сызықтың бағыты барлық нүктелердің максималды проекция ұзындығының бағыттық векторына негізделіп, түзу сызықтың келтіру нүктелерінен өтуін қамтамасыз етеді және қалған нүктелерді келтіру нүктесіне дейін есептеуге мүмкіндік береді.

Барлық нүктелерден бастапқы сызықтық теңдеуді және басқа нүктелерден түзуге дейінгі қашықтықты анықтау үшін екі нүкте кездейсоқ таңдалып, оларға сәйкес түзу сызық құрылады. Егер түзу сызықтың қателігі берілген шектен аз болса, ол жергілікті шешім ретінде қабылданады. Ал егер қате шектен асып кетсе, онда ең кіші квадраттар әдісі қолданылады. Кездейсоқ таңдауларды бірнеше рет қайталау арқылы ең аз қателікпен сәйкестендірілген сызықтық модель ең қолайлы шешім ретінде таңдалады. Кездейсоқ алгоритмнің сенімділігін арттырып, оның жылдам жинақталуына көмектеседі. Электр тірегінің контур нүктелерінде көмекші компоненттердің болуына байланысты, сызықтық теңдеуді сәйкестендіру үшін RANSAC әдісі қолданылады. Бұнда кездейсоқ таңдаулар негізінде түзу сызықты сәйкестендіруге мүмкіндік береді, себебі ол бұрмалаушы компоненттер мен шудың әсерін азайтып, контур нүктелерінің арасына көмекші элементтер кірген жағдайда тиімді жұмыс істейді. Аталмыш әдістердің тиімділігі мен дәлдігін талдау мақсатында мақалада 6 түрлі электр желі тірек деректерінің нүктелер бұлты мәліметтерін өңдеп (1 – сурет), алгоритмдік бағалау және уақыттық талдау жұмыстары жүргізілді.

Сондықтан, электр желі тіректерін қалпына келтірудегі LiDAR деректерін геодезиялық есептеуде кездейсоқ түрде барлық нүктелерден екі нүкте таңдалып, бастапқы сызықтық теңдеу ретінде $A_0P_x + C_0P_z + D_0 = 0$ көрсетіледі. Бұдан кейін басқа нүктелерден түзу сызыққа дейінгі қашықтық кезекпен бағаланады. Осы қашықтық берілген қатеден аз болса, нүкте жергілікті шешім ретінде қабылданып, нүктелер санының барлық нүктелерге қатынасы есептеледі. Егер бұл қатынас берілген коэффициенттің шекті мәнінен үлкен болса, нүктелер сызықтық сәйкестендіру үшін ең кіші квадраттар әдісін қолдана отырып, орташа сәйкестік қатесін есептеу арқылы нүктеден қолайлы сызыққа дейінгі орташа қашықтықты анықтайды. Ол қателіктерді азайту арқылы ең жақсы шешімді таңдауға мүмкіндік береді.



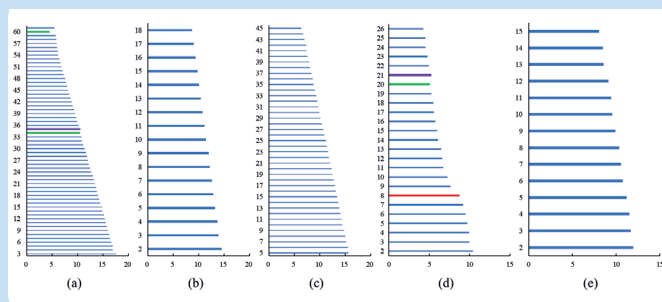
Сурет 1. Электр беру тіректерінің нүктелер бұлты.

Figure 1. A cloud of transmission line support points.

Рис. 1. Облако точек опор линии электропередачи.

Тіректің сыртындағы қате нүктелерді жоюда және электр тірегі орнын анықтауда, 2-суретте көрсетілгендей, шекті орналасуы қабаттардың ең көп саны бар кластер таңдалып, проекцияның сәйкес иерархиялық ұзынды-

ғына талдау жасалынады. Мұнда қызыл сызыққа сәйкес иерархиялық ұзындық анықталатын шекті орналасу орны болып табылады. Электр тірегінің құрылымдық сипаттамаларына сүйене отырып, 2-суреттегі қабатты нүктелер бұлтының проекциялық ұзындығы жоғарыдан төменге қарай сызықтық өсуге сәйкес келуі керек. Сондай-ақ, алынған тірек нүктелерінің бұлты ішінара жоғалып кетуі мүмкін, нәтижесінде жетіспейтін қабатты проекция ұзындығы оның жоғарғы жағындағы қабатты нүктелер бұлтының проекция ұзындығынан қысқа болады. Осылайша, алынған нүктелер бұлтындағы қателіктерге байланысты нүктелердің аз саны жоғарғы және төменгі көршілес сызықтарында, 2-суретте (a, d) көрсеттегідей, «ойыс» құрылымды күлгін мен жасыл сызықты құрайды.



Сурет 2. Қабатты нүктелер бұлтының проекция ұзындығы.

Figure 2. The length of the layered point cloud projection.

Рис. 2. Длина проекции слоистого облака точек.

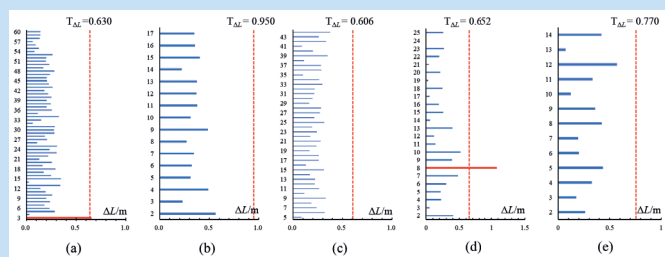
Проекция ұзындығының жоғарыдан төменге қарай біртіндеп ұлғаюын қамтамасыз ету үшін «ойыс» құрылымдары жойылуы қажет. Әр қабаттағы нүктелер бұлтының проекция ұзындығын түзету үшін қабаттарды жоғарыдан төменге қарай 1 – формуламен кезекпен есептеу қажет:

$$(L_{i+1} - L_i)(L_{i-1} - L_i) > 0 \Rightarrow L_i = \frac{L_{i+1} + L_{i-1}}{2}. \quad (1)$$

Түзетілген қабаттың проекция ұзындығына негізделіп, 2 – формула көршілес қабаттар арасындағы проекция ұзындығының ΔL_i айырмашылығын есептеу үшін қолданылады. Көршілес қабаттар арасындағы проекция ұзындығының айырмашылығын қызыл қалың сызық шекті орналасуды, ал қызыл нүктелі сызық $T_{\Delta L}$ бейімделу шегін көрсетеді (3 – сурет). Мұнда $\Delta L_i > T_{\Delta L}$ болса электр бағанының шекті орналасуы ретінде қарастырылады. Егер бірнеше шекті орналасу кездессе (3 a, d – сурет), онда ең үлкен сызықтық ұзындық шекті орналасу орны ретінде қарастырылады. Ал керісінше болса, кластердегі ең қысқа иерархиялық ұзындық (3 b, c, e – сурет) шекті орналасуы ретінде таңдалады.

$$\Delta L_i = L_i - L_{i+1}. \quad (2)$$

Проекция ұзындығы жоғарыдан төменге қарай сызықты түрде өсетіндіктен, ΔL_i теориялық мәні $\Delta h/k$ тең, мұндағы k – төртбұрыштың еңісі. Егер көлбеу болса, k_0 төменгі нүктелер бұлтында ең кіші сызықтық сәйкестік қателігі бар позиция ретінде таңдалынып $T_{\Delta L} = 3\Delta h_1 / k_0$ формуласымен есептеледі.

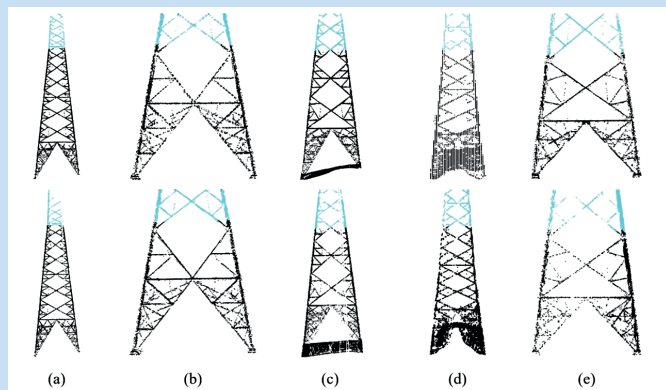


Сурет 3. Көршілес қабатты нүктелер бұлты арасындағы проекция ұзындығының орналасуы.
Figure 3. Location of the projection length between a cloud of adjacent layered points.

Рис. 3. Расположение длины проекции между облаком соседних точек слоя.

Шекті орналасудың жоғары нүктелер бұлты сәйкесінше $X'Z$ және $Y'Z$ жазықтықтарына проекцияланады. Призмалық сызықтық теңдеуді анықтау үшін нүктелер бұлты контурын алу және сызықтық теңдеуді орнату әдістері қолданылады. 3 – формуламен нүктелер бұлтының орны анықталып, сыртында орналасқан нүктелер жойылып, нақтыланған төменгі нүктелер бұлты ұсынылады (4-сурет).

$$\begin{cases} \frac{-C_L P_Z - D_L}{A_L} - e > P_{x'} \vee \frac{-C_R P_Z - D_R}{A_R} + e < P_{x'} \Rightarrow \text{нүкте сыртында} \\ \text{басқа} \Rightarrow \text{нүкте ішінде} \end{cases} \quad (3)$$



Сурет 4. Электр беру тірегі нүктелер бұлтының төменгі бөлігі.

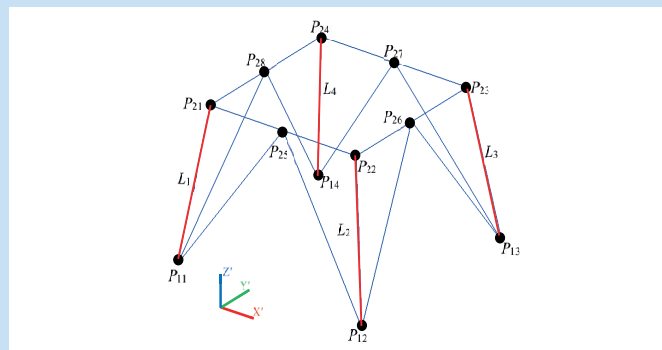
Figure 4. Power transmission support lower part of the cloud of points.

Рис. 4. Нижняя часть облака точек опоры электропередачи.

Электр тірегінің ішкі жағындағы сәйкессіздік нүктелері негізінен тірек аяқтарының ішкі бөлігіне орналасады (5-сурет). Тірек аяқтарының сыртқы контуры төртбұрышты платформа түрінде, ал ішкі жағы төрт төңкерілген үшбұрышты пирамида түрінде сипатталады. P_{25} , P_{26} , P_{27} және P_{28} – жақтардың ортаңғы нүктелері, ал L_i ($i = 1, 2, 3, 4$) төрт жақтың сызықтық теңдеуі. Электр тірегі табанының құрылымын нақтылау үшін P_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2, 3, 4$) нүктесінің Z координатасын анықтау жеткілікті. Мұнда электр тірегі табанының нақты құрылымы негізінде, егер нүкте төрт төңкерілген үшбұрышты пирамида құрылымының ішінде болса, ол тірек нүктесі ретінде

қарастырылады. Сондай-ақ, тірек нүктесін анықтау екі кезеңнен тұрады:

1. Тірек корпусы мен аяқтарының шекаралық орналасуын, яғни P_{2i} ($i = 1, 2, \dots, 8$) Z координатасын анықтау.
2. P_{li} ($i = 1, 2, 3, 4$) Z координатасын есептеу.



Сурет 5. Тірек аяқтарының құрылымы.
Figure 5. Structure of the support legs.

Рис. 5. Строение опорных ножек.

L_i ($i = 1, 2, 3, 4$) жиегінің сызықтық теңдеуін және P_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2, 3, 4$) нүктесінің Z координатасын біле отырып, P_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2, 3, 4$) нүктелерінің X' және Y' координаттарын есептеуге болады. Ал $S_3 - P_{12}P_{26}$ және P_{27} қиылысу нүктелерінің жазықтығы, яғни $A_x P_{x'} + B_y P_{y'} + C_z P_{z'} + D_3 = 0$ теңдеуін қанағаттандыратын жазықтық.

Нүкте мен S_3 жазықтығы арасындағы позициялық байланыс 4 – формуламен анықталады, мұндағы e – қателіктерге төзімділік константасы. Егер нүкте жазықтықтың төменгі жағында болса, ол қажетсіз нүкте ретінде қарастырылады.

$$\begin{cases} -\frac{A_3 P_{x'} + B_3 P_{y'} + D_3}{C_3} - e > P_{zi'} \Rightarrow \text{нүкте жер бетінің астында} \\ \text{басқа} \Rightarrow \text{нүкте жер бетінің үстінде} \end{cases} \quad (4)$$

Тіректі ажырату дәлдігін сандық түрде бағалау үшін дәлдік коэффициенті P , қалпына келу жылдамдығы R және $F1$ мәні пайдаланылады. Мұндағы дәлдік коэффициенті – нақты тірек нүктелерінің жалпы анықталған нүктелеріне қатынасы, ал қалпына келу жылдамдығы – бастапқы тірек нүктелеріндегі нақты тірек нүктелеріне қатынасы. $F1$ мәні – дәлдік пен қалпына келу жылдамдығының жалпы бағасы.

Дәлдік, қалпына келу жылдамдығы және $F1$ мәні 5 – формуламен анықталынады.

$$P = \frac{n}{n+k} * 100\%, R = \frac{n}{n+m} * 100\%, F1 = \frac{2PR}{P+R} * 100\%, \quad (5)$$

Мұндағы:

n – нақты тірек нүктелерінің саны;

m – басқа нүктелер ретінде қарастыратын нүктелер саны;

k – тірек емес нүктелерді қарастыратын нүктелер саны.

Тірек нүктелерінің бұлттарынан ұсақ ажыратудың дәлдігі мен тиімділігі 1-кестеде көрсетілген, орташа дәлдік көрсеткіші 98,5%, қалпына келудің орташа көрсеткіші 96,7%, $F1$ орташа мәні 97,6%, ал орташа уақыт шығыны 0,9 с. Алынған тірек нүктелерінің бұлты нәтижелері 6-суретте көрсетілген.

Кесте 1

Тіректі ажыратудың дәлдігі мен тиімділігі

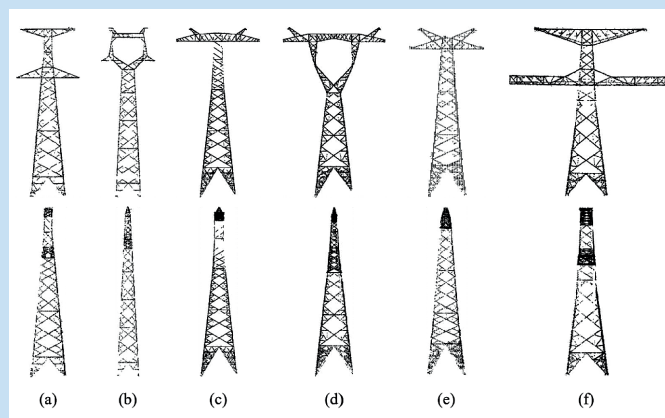
Table 1

Precision and efficiency of support extraction

Таблица 1

Точность и эффективность извлечения опоры

Тірек түрлері	P	R	$F1$	Уақыт s
a	98.9%	96.1%	97.5%	0.8
b	99.1%	98.0%	98.6%	0.8
c	99.9%	99.7%	99.8%	0.9
d	99.6%	99.5%	99.5%	1
e	92.6%	93.4%	93.0%	0.8
f	99.9%	94.2%	96.9%	1.1
Орташа	98.5%	96.7%	97.6%	0.9



Сурет 6. Электр беру тірегінің ажыратылған нүктелері.

Figure 6. Extracted transmission fulcrum points.

Рис. 6. Извлеченные точки опоры электропередачи.

Осылайша, электр желі тіректерінің нақты орнын анықтауда шекті орналасу қабаттары таңдалып, проекцияның иерархиялық ұзындығына сәйкес жоғарыдан төменге қарай талдау жасалынып, сыртында орналасқан нүктелер жойылып және нүктелер бұлтының нақты орны анықталынады.

Зерттеу нәтижелері мен талқылау

Төменгі нүктелер бұлтының ұсақ экстракция ортасы – тіректің шекті орнын анықтау, тірек табаны және корпусының шекаралық орындарын тану алгоритмі. Шекті орнын тану алгоритмінде іргелес қабаттардың проекция ұзындығы айырмашылығының шекті мәні (T_{AL}) негізгі параметр болып табылады. Шекті орын жоғарыдағы төртбұрышты құрылым болғандықтан, іргелес қабаттардың проекция ұзындығының айырмашылығы шамамен тұрақты $\Delta h_f/k_0$ құрайды. Егер көршілес проекция ұзындығының айырмашылығы $3\Delta h_f/k_0$ –ден үлкен болса, онда оның шекті орын болуының үлкен ықтималдығы бар, сондықтан $T_{AL} = 3\Delta h_f/k_0$. Ал тірек табаны мен корпусының шекаралық орналасуын тану алгоритмінің негізгі параметрлері сегмент аралығының екі параметрі (Δh_2 , Δh_3) және толтыру жылдамдығының шегі T_f қарастырылады. Мұнда Δh_2 -тік ст-

ратификация интервалының параметрі. Тірек табаны мен корпусының шекаралық позициясындағы нүктелер бұлты биіктігінің максималды айырмашылығы негізінен $[0,07, 0,2]$ арасында бөлінетіндіктен, шекаралық орындағы нүктелер бұлты оның жергілікті максималды тығыздығын көрсету үшін бірдей стратификацияда орналасуы керек. Сондықтан, Δh_2 мәнін $0,2$ мәніне орнатады. Демаркациялық позицияны толтыру жылдамдығы жергілікті қабатты нүктелер бұлтының толтыру жылдамдығынан едәуір жоғары болғандықтан, жылдамдығының төмендеуін болдырмау үшін, демаркациялық позицияны толтыру жылдамдығын бөлектеу және басқа жергілікті қабатты толтыру жылдамдығына әсерін азайту үшін үлкен аралық мән орнатады. У бағытындағы іргелес нүктелер арасындағы интервал негізінен $[0,01, 0,3]$ арасында бөлінетіндіктен, Δh_2 $0,3$ мәніне орнатылады. T_f толтыру жылдамдығының шегі үшін шекаралық жерде толтыру жылдамдығы T_f -тен жоғары болуы керек, ал маңайдағы орташа толтыру жылдамдығы T_f -тен төмен болуы керек. Көптеген эксперименттерден кейін 60% әмбебаптығы жоғары T_f ретінде таңдалды. Ақаулыққа төзімділік коэффициентінің мәні e бұлттың ұсақ экстракциясының жоғарғы нүктесіндегі ақауларға төзімділік коэффициентінің мәнін береді.

Дәлдік коэффициенті анықталған тірек нүктелері нақты үлесін көрсетеді. Анықталған тірек нүктелері басқа нүктелерге сезімтал, бірақ алгоритмнің барлық нақты тірек нүктелерін анықтау қабілетін көрсетпейді. Ал қалпына келу жылдамдығы анықталған нақты тірек нүктелерінің үлесін білдіреді. Бірақ ол анықталған тірек нүктелеріне сезімтал, алгоритмнің тірек нүктелерін басқа нүктелерден ажырату қабілетін көрсетпейді. $F1$ мәні – дәлдік пен қалпына келу жылдамдығын жан-жақты бағалайтын көрсеткіш.

Осылайша, 1-кестеден көрініп тұрғандай:

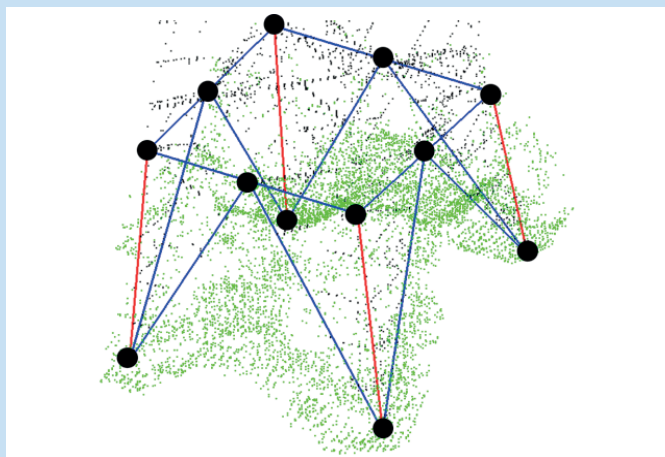
1. 6 түрлі тірек деректері үшін алгоритмнің орташа $F1$ мәні 97% -ға дейін жетеді, ең төменгі $F1$ мәні $94,2\%$ -ды құрайды;

2. алгоритмнің орташа есептеу уақыты $0,9$ секундты құрайды, бұл жоғары тиімділікті көрсетеді;

3. e және f деректерінің дәлдігі салыстырмалы түрде төмен. e деректерінің дәлдігі мен қалпына келу жылдамдығы төмен болса, F деректерінің дәлдігі жоғарырақ, бірақ қалпына келу жылдамдығы төмен. e және f деректерінің дәлдігін жеке талдау төменде жүргізіледі.

e деректерінде тірек табанының ішкі және сыртқы жағында көп жалған нүктелер кездеседі (7-сурет). Тірек табанының сыртындағы нүктелер бұлтын алып тастаған кезде, нүктелер бұлтының сканерлеу қателігі мен құрылымдық орнату қатесіне байланысты, орнатылған төңкерілген үшбұрышты пирамида құрылымының сыртында кейбір тірек нүктелері болуы мүмкін және олар жою үшін дұрыс емес нүкте ретінде қарастырылады. Бұл деректердің дәлдігінің төмендеуіне әкеледі, себебі қате нүктелер мен тірек нүктелерінің араласуы орын алады. Сондай-ақ, құрылымдық шектеулерге байланысты төңкерілген үшбұрышты пирамида құрылымының ішкі жағында да қате нүктелер кездесетіндіктен, құрылымның сыртындағы қате нүктелерді ғана жоя алатын ажырату алгоритмі нәтижесінде қалпына келу жылдамдығы төмендейді.

a, *b* және *d* деректерінде қате нүктелер аз, сондықтан тірек нүктелер бұлтының деректерін алу дәлдігі жоғары болады, себебі олар кеңістіктік тұрғыдан тірек нүктелерінің бұлтымен аз араласады.

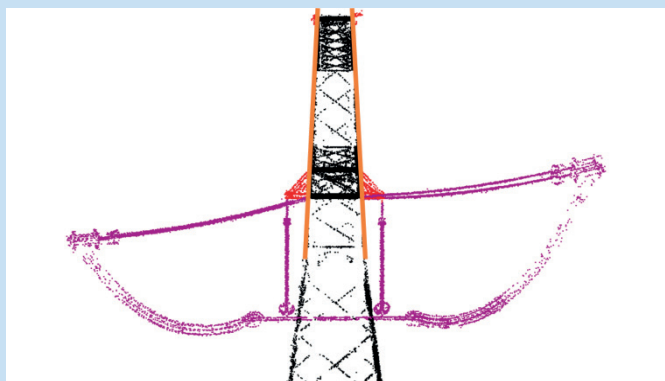


Сурет 7. Тірек негізінің құрылымы және *e* деректер нүктесінің бұлты.

Figure 7. Support base structure and data point *e* cloud.

Рис. 7. Структура опорного основания и облако точек данных *e*.

f деректері үшін $X'Z$ жазықтығындағы бұлттың жоғарғы нүктесінің проекциясы 8-суретте көрсетілген. Мұнда күлгін нүкте – аксессуар нүктесі, қызғылт сары сызық – бекітілген контурдың түзу сызығы, ал қызыл нүкте – тірек нүктесі. Орынатылған контур сызығының сыртында орналасқан қызыл нүктелер жоюға арналған қосалқы нүктелер ретінде қарастырылады, нәтижесінде *f* деректерінің қалпына келу жылдамдығының төмендеуіне әкеледі.



Сурет 8. *f* деректерінің жоғарғы бөлігін $X'Z$ жазықтығына проекциялануы.

Figure 8. Projection of the upper part of the data *f* onto the $X'Z$ plane.

Рис. 8. Проекция верхней части данных *f* на плоскость $X'Z$.

Тірек деректерінің әр түрлі қосалқы құрамдас нүктелері тіректің ажырату дәлдігіне айтарлықтай әсер етпейді. Тіректің ажырату дәлдігіне әсер ететін негізгі факторлар келесідей:

- тірек табанындағы өсімдіктер мен тіректің нүктелер бұлты арасындағы кеңістіктік позициялық байланыс. Егер тіректің табанында төңкерілген үшбұрышты пирамида құрылымының ішінде жалған нүктелер пайда болса, тіректің ұсақ ажырату алгоритмінің дәлдігі төмендейді.

- XZ жазықтығында проекцияланған тіректің жоғарғы нүктелер бұлтының пішін құрылымы. Егер проекцияланған пішін трапеция тәрізді болмаса немесе трапецияның сыртында тіректің кішкене нүктесі болса, алгоритмнің қалпына келу жылдамдығы төмендейді.

Бұл екі фактор тірек нүктелер бұлтының бір бөлігінің жоғалуына әкеліп соқтырса да, жоғалған құрылым тек кішкене құрамдас құрылым немесе шеткі сызықтағы нүктенің бөлігі болғандықтан, тіректің жалпы магистральдық құрылымына айтарлықтай әсер етпейді.

Қорытынды

Қорытындылай келе, тірек нүктелерінің бұлтында орналасқан қосалқы құрамдас, дұрыс емес бөлу және дәл тірек нүктелерінің кеңістіктік құрылымының сипаттамалары мен салыстырмалы позициялық байланыстарын талдай отырып, тірек табанындағы ықтимал «ойықтар» алып тасталады, содан кейін тіректің құрылымдық сипаттамаларын есептеуді жеңілдету үшін PCA алгоритмі негізінде қайта бағытталады. Қайта бағытталған тірек корпусының ұзындығы мен биіктігі арасындағы теріс сызықтық қатынасқа сүйене отырып, тірек корпусының нүктелер бұлтының бір бөлігін алу үшін иерархиялық нүктелер бұлтын кластерлеу жүзеге асырылады. Соңында, тірек корпусының бір бөлігінің төменгі жағындағы нүктелер бұлты үшін призмалық құрылым әдістері және төңкерілген үшбұрышты пирамида құрылымының шектеулері сыртқы және ішкі сәйкессіздік нүктелерін жою үшін қолданылады.

Зерттеу мақаласында әр түрлі тірек және қосалқы компоненттердің қосылу типтері мен жалған нүктелердің таралуы бар түрлі тіректердің нүктелер бұлттары таңдалды. Нәтижесінде тіректің ұсақ бөлшектерін алудың орташа дәлдік көрсеткіші 98,5%, кері қайтарып алудың орташа көрсеткіші 96,7% және *F1* орташа көрсеткіші 97,6% екенін көрсетті. Орташа жұмыс уақыты – 0,9 с тең екендігі дәлелденді. Сондықтан электр желі тіректерін қалпына келтіруде сызықтық сәйкестендірудің әдістері негізінде LiDAR деректерінің кездейсоқ нүктелерін таңдау, қашықтықты бағалау, нүктелердің қатынасы анықтау, орташа сәйкестік әдісі қатесін анықтау арқылы ең қолайлы сызықтық теңдеуді таңдаумен қатар PCA алгоритмін мен RANSAC әдістерін қолдану өте тиімді нәтижені береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Электр желісін бөлектеу үшін электр желісінің дәліз нүктелерінің бұлттарындағы олқылықтарды жою үшін иерархиялық кластерлеу әдісі / Y. Fan [және т. б.] // Қашықтықтан зондтау. 2021. Т. 13. № 1502. Б. 1–21 (ағылшын тілінде)

2. Иерархиялық тәсілмен воксельге негізделген қосалқы үлгіні қолдана отырып, лазерлік сканерлеу деректерінен электр желілерін автоматтандырылған және тиімді алу / J. Jung [және т. б.] // ISBN. J. Фотограмметрия. 2020. Т. 163. Б. 343–361 (ағылшын тілінде)
3. Борттық лидар деректерінен электр желілері мен тіректерді алудың GCN негізіндегі әдісі / W. Li [және т. б.] // IEEE-дің жер туралы ғылымдар және қашықтықтан зондтау бойынша еңбектері. 2022. Т. 60. Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
4. 3D-дәліздерді тазартуды бақылау үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарының суреттерін қолдана отырып, электр желілерін қайта құру / E. Pastucha [және т. б.] // Қашықтықтан зондтау. 2020. Т. 12. № 3698. Б. 1–31 (ағылшын тілінде)
5. Борттық лидар деректерін пайдалана отырып, дерексіз шаблондық конструкциялар негізінде күш тіректерін қайта құру / Chen S. [және т. б.] // Қашықтықтан зондтау. 2019. Т. 11. № 1579. Б. 1–30 (ағылшын тілінде)
6. Kim H.B., Sohn G. Кездейсоқ ормандарды қолдана отырып, электр желісі дәлізінің көрінісін нүктелік жіктеу // Қашықтықтан зондтау. 2013. Т. 79. Б. 821–833 (ағылшын тілінде)
7. JointBoost көмегімен борттық лазерлік сканерлеу деректерінің жіктелуі / Guo B. [және т. б.] // ISPRS J. Фотограмметрия. 2015. Т. 100. Б. 71–83 (ағылшын тілінде)
8. Қалалық жерлерде борттық лидар мәліметтері бойынша электр желілерінің бақыланатын жіктелуі / Y. Wang [және т. б.] // Қашықтықтан зондтау. 2017. Т. 9. № 771. Б. 1–16 (ағылшын тілінде)
9. Mukhopadhyay P., Chaudhuri B.B. Хаф түрлендіруіне шолу // Үлгіні тану. 2015. Т. 48. Б. 993–1010 (ағылшын тілінде)
10. Борттық лидар деректеріне негізделген электр желілерін жылдам алу бойынша зерттеу / Wang P.H. [және т. б.] // Sci. Surv. Mapp. 2017. Т. 42. № 6. Б. 154–158 (ағылшын тілінде)
11. Chum O., Matas J. Оңтайлы рандомизацияланған RANSAC // IEEE үлгілерін талдау және машиналық интеллект бойынша еңбектері. 2008. Т. 30. Б. 1472–1482 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. A Hierarchical Clustering Method to Repair Gaps in Point Clouds of Powerline Corridor for Powerline Extraction / Fan Y. [et al.] // Remote Sensing. 2021. V. 13. No. 1502. 1–21 pp. (in English)
2. Automated and efficient powerline extraction from laser scanning data using a voxel-based subsampling with hierarchical approach / Jung J. [et al.] // ISPRS. J. Photogramm. 2020. V. 163. 343–361 pp. (in English)
3. A GCN-Based Method for Extracting Power Lines and Pylons from Airborne LiDAR Data / Li W. [et al.] // IEEE Trans. Geosci. Remote. 2022. V. 60. 1–14 pp. (in English)
4. 3D Reconstruction of Power Lines Using UAV Images to Monitor Corridor Clearance / Pastucha E. [et al.] // Remote Sens. 2020. V. 12. No. 3698. 1–31 pp. (in English)
5. Power Pylon Reconstruction Based on Abstract Template Structures Using Airborne LiDAR Data / Chen S. [et al.] // Remote Sens. 2019. V. 11. No. 1579. 1–30 pp. (in English)
6. Kim H.B., Sohn G. Point-based classification of power line corridor scene using random forests // Remote Sens. 2013. V. 79. 821–833 pp. (in English)
7. Guo B., Huang X., Zhang F., Sohn G. Classification of airborne laser scanning data using JointBoost // ISPRS J. Photogramm. 2015. V. 100. 71–83 pp. (in English)
8. Supervised Classification of Power Lines from Airborne LiDAR Data in Urban Areas / Wang Y. [et al.] // Remote Sens. 2017. V. 9. No. 771. 1–16 pp. (in English)
9. Mukhopadhyay P., Chaudhuri B.B. A survey of Hough Transform // Pattern Recogn. 2015. V. 48. 993–1010 pp. (in English)
10. Study on power line fast extraction based on airborne LiDAR data / Wang P.H. [et al.] // Sci. Surv. Mapp. 2017. V. 42. No. 6. 154–158 pp. (in English)
11. Chum O., Matas J. Optimal Randomized RANSAC // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2008. V. 30. 1472–1482 pp. (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Метод иерархической кластеризации для устранения разрывов в облаках точек коридора линии электропередач для выделения линии электропередач / Y. Fan [и др.] // Дистанционное зондирование. 2021. Т. 13. № 1502. С. 1–21 (на английском языке)
2. Автоматизированное и эффективное извлечение линий электропередачи из данных лазерного сканирования с использованием подвыборки на основе вокселей с иерархическим подходом / J. Jung [и др.] // ISBN. J. Фотограмметрия. 2020. Т. 163. С. 343–361 (на английском языке)
3. Основанный на GCN метод извлечения линий электропередач и опор из данных бортового лидара. / W. Li [и др.] // Труды IEEE по наукам о земле и дистанционному зондированию. 2022. Т. 60. С. 1–14 (на английском языке)

4. 3D-реконструкция линий электропередач с использованием изображений с беспилотных летательных аппаратов для мониторинга расчистки коридоров / E. Pastucha [и др.] // Дистанционное зондирование. 2020. Т. 12. № 3698. С. 1–31 (на английском языке)
5. Реконструкция силовых опор на основе абстрактных шаблонных конструкций с использованием данных бортового лидара / Chen S. [и др.] // Дистанционное зондирование. 2019. Т. 11. № 1579. С. 1–30 (на английском языке)
6. Kim H.B., Sohn G. Точечная классификация сцены коридора линии электропередачи с использованием случайных лесов // Дистанционное зондирование. 2013. Т. 79. С. 821–833 (на английском языке)
7. Классификация данных бортового лазерного сканирования с использованием JointBoost / B. Guo [и др.] // ISPRS J. Фотограмметрия. 2015. Т. 100. С. 71–83 (на английском языке)
8. Контролируемая классификация линий электропередач по данным бортового лидара в городских районах / Y. Wang [и др.] // Дистанционное зондирование. 2017. Т. 9. № 771. С. 1–16 (на английском языке)
9. Mikhropadhyay P., Chaudhuri B.B. Обзор преобразования Хафа // Распознавание образов. 2015. Т. 48. С. 993–1010 (на английском языке)
10. Исследование по быстрому извлечению линий электропередач на основе данных бортового лидара / P.H. Wang [и др.] // Sci. Surv. Mapp. 2017. Т. 42. № 6. С. 154–158 (на английском языке)
11. Chum O., Matas J. Оптимальный рандомизированный RANSAC // Труды IEEE по анализу паттернов и машинному интеллекту. 2008. Т. 30. С. 1472–1482 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Әбен А.С., т.ғ.м., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тай-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан), a.aben@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6222-8631>

Дай Хуаян, Геология және геодезиялық инженерия колледжі, Қытай тау-кен және технологиялар Университеті (Пекин қ., Қытай), dhy@cumt.edu.cn; <https://orcid.org/0000-0001-8110-9611>

Жақыпбек Ы., Ph.D, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тай-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан), y.zhakupbek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-2474-9927>

Күмісханова Б.Б., т.ғ.м., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тай-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан), b.kumiskhanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0008-7556-0578>

Information about the authors:

Aben A., Master of Technical Sciences, lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Dai Huayang, College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing, China)

Zhakupbek Y., Ph.D, Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kumiskhanova B., Master of Technical Sciences, lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Абен А.С., м.т.н., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Дай Хуаян, Колледж наук о земле и инженерной геодезии, Китайский университет горного дела и технологий (г. Пекин, Китай)

Жақыпбек Ы., Ph.D, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Күмісханова Б.Б., м.т.н., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

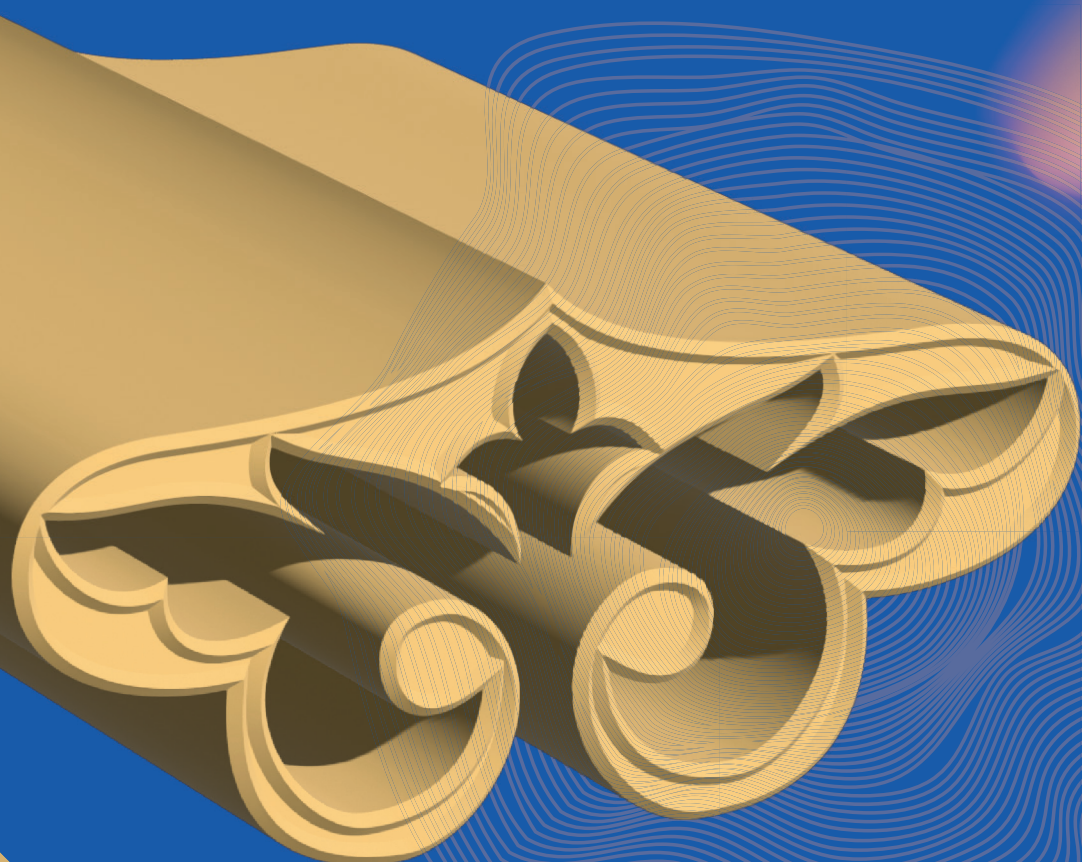
9 - 10 АПРЕЛЯ 2025

RADISSON ASTANA, Г. АСТАНА



KAZAKHSTAN

ASTANA 2025



15-й горно-геологический форум **MINEX Kazakhstan'2025**

**«НОВАЯ ЭРА В ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА: ОТ РАЗВЕДКИ К ПЕРЕРАБОТКЕ»**

Форум MINEX Казахстан ежегодно проводится в Астане с 2010 года. В нем традиционно участвуют руководители и ведущие эксперты из министерств, международные организации, отечественные и зарубежные горнодобывающие и поисковые компании, технологические и консалтинговые фирмы, финансовые институты, фондовые биржи, инвестиционные фонды, университеты и отраслевые ассоциации.

MINEXKAZAKHSTAN.COM



Код МРНТИ 36.29.33

***А.К. Сатбергенова, А.К. Зекен, Ф.К. Низаметдинов, Н.Ф. Низаметдинов**
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический
Университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ ЖЕР БЕТІНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аннотация. Бұл мақалада Жер бетінің қозғалысын бақылау үшін дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану нәтижелері ұсынылған. Атасу темір кен орындарындағы зерттеулер Sentinel-1 спутниктерінің деректері негізінде жүргізілді. Нәтижелер жер бедеріндегі айтарлықтай деформациялар мен шөгінділерді анықтады. Бұл әдіс табиғи (жер сілкіністері, жанартаулық белсенділік) және антропогендік (тау-кен жұмыстары, құрылыс) процестерді жоғары дәлдікпен бақылауға мүмкіндік береді. Зерттеу тек қана жер бедерінің өзгерістерін бақылаумен шектелмейді, сонымен қатар геодинамикалық процестерді болжауға, қауіпті аймақтарды анықтауға және табиғи апаттардың алдын алуға көмектеседі. Дифференциалды интерферометрия ұзақ мерзімді мониторинг және уақыт бойынша динамикалық өзгерістерді талдау үшін ерекше маңызды құрал болып табылады. Бұл әдіс кеңістіктік деректерді тиімді қолдану арқылы аумақтардың қауіпсіздігі мен тұрақты дамуын қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер: дифференциалды интерферометрия, спутниктік радиолокация, геодезиялық бақылау, жер бедерінің деформациясы, табиғи апаттар, мониторинг, болжау, геодинамикалық процестер.

Results of observations of the movement of the earth's surface using the method of differential interferometry

Abstract. This paper presents the results of using the differential interferometry method to monitor surface motion. The research was conducted using Sentinel-1 satellite data at the Atasu iron ore deposits. The findings revealed significant surface deformations and subsidence, confirming the high precision of this method for monitoring both natural (earthquakes, volcanic activity) and anthropogenic (mining, construction) processes. Differential interferometry not only detects current surface changes but also predicts future developments, which is crucial for preventing natural and man-made disasters. The method allows for long-term monitoring and the analysis of dynamic changes over time and space. It offers new prospects for enhancing territorial safety and sustainable development by providing precise geodynamic analysis and control.

Key words: differential interferometry, satellite radar, geodetic monitoring, surface deformation, natural disasters, monitoring, prediction, geodynamic processes.

Результаты наблюдений за сдвижением земной поверхности с помощью метода дифференциальной интерферометрии

Аннотация. В статье представлены результаты использования метода дифференциальной интерферометрии для мониторинга движения поверхности Земли. Исследования проводились на основе данных спутников Sentinel-1 в районе месторождений железной руды Атасу. Полученные данные выявили значительные деформации и просадки, что подтверждает высокую точность метода для мониторинга как природных (землетрясения, вулканизм), так и антропогенных (горные работы, строительство) процессов. Дифференциальная интерферометрия позволяет не только фиксировать текущие изменения земной поверхности, но и прогнозировать их развитие, что особенно важно для предотвращения природных и техногенных катастроф. Метод обеспечивает возможность долгосрочного мониторинга и анализа динамических изменений в пространстве и времени. Он открывает новые перспективы для обеспечения безопасности территорий и устойчивого их развития за счет точного геодинамического анализа и контроля.

Ключевые слова: дифференциальная интерферометрия, спутниковая радиолокация, геодезический мониторинг, деформация поверхности, природные катастрофы, мониторинг, прогнозирование, геодинамические процессы.

Кіріспе

Жер бетінің қозғалысын бақылау және талдау геодинамикалық процестерді түсінуде және табиғи апаттардың алдын алуда шешуші рөл атқарады. Жер қыртысының деформацияларын егжей – тегжейлі зерттеу үшін қолданылатын ең тиімді әдістердің бірі-дифференциалды интерферометрия (DInSAR). Бұл әдіс тектоникалық белсенділіктен, жанартау атқылауынан, тау жыныстарының құлауынан, сондай-ақ тау-кен өндірісі мен құрылыс сияқты адам әрекетінен болатын биіктік өзгерістерін жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді.

Радиолокациялық спутниктерден алынған мәліметтерге негізделген дифференциалды интерферометрия жоғары дәлдіктегі деформация карталарын жасауға және уақыт бойынша жер бетіндегі өзгерістердің динамикасын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл әдісті қолдану аумақтардың қауіпсіздігі мен тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылатын табиғи процестерді бақылау мен болжаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Бұл зерттеудің мақсаты дифференциалды интерферометрия әдісін қолдана отырып, жер бетінің қозғалысын бақылау нәтижелерін талдау болып табылады. Жұмыста әдістің теориялық аспектілері де, оны әртүрлі географиялық және геологиялық объектілерде қолданудың практикалық нәтижелері де қарастырылады. Әр түрлі спутниктерден алынған деректерді салыстырмалы талдауға және өлшеу дәлдігін бағалауға ерекше назар аударылады.

Зерттеу әдістері

Бұл зерттеу жер бетінің қозғалысын бақылау және талдау үшін дифференциалды интерферометрия (DInSAR) әдісін қолданады. Зерттеуде қолданылатын негізгі кезеңдер мен әдістерге мыналар жатады:

1. Радиолокациялық спутниктік түсірілім деректерін жинау:

- Sentinel-1 радиолокациялық спутниктен алынған деректерді пайдаландық. Бұл спутниктер жер бетінің биіктігінің өзгеруін егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік беретін жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы жер бетінің суреттерін ұсынады;

- мерзімді түсірілім деформациялардың динамикалық көрінісін қамтамасыз ете отырып, уақыт бойынша өзгерістерді бақылауға мүмкіндік береді.

2. Деректерді алдын ала өңдеу:

- атмосфералық және орбиталық бұрмалануларды ескере отырып, радиолокациялық кескіндерді түзету. Бұл атмосфералық құбылыстардан (мысалы, ылғалдылық пен температураның ауытқуы) туындаған кедергілерді жою үшін әртүрлі модельдерді қолдануды қамтиды;

- кескіндерді тіркеу, яғни әр түрлі суреттерді дұрыс салыстыру үшін радиолокациялық деректерді бірыңғай координаталық жүйеге келтіру.

3. Интерферограммаларды құру:

- уақыттың әртүрлі нүктелерінде алынған екі радиолокациялық кескінді қабаттастыру арқылы интерферо-

раммаларды құру. Интерферограммалар бетінің биіктігінің өзгеруіне байланысты фазалық сдсуларды анықтауға мүмкіндік береді;

- интерферограммалардың сапасын жақсарту және шуды жою үшін сүзгілерді қолдану.

4. Дифференциалды талдау:

- бетінің биіктігінің нақты өзгеруін анықтау үшін дифференциалды интерферограммаларды есептеу. Бұл деформацияларды бірнеше миллиметрге дейін анықтауға мүмкіндік береді;

- бетінің қозғалыс динамикасын анықтау үшін интерферометриялық деректердің уақыт қатарын талдау.

5. Деректерді геокодтау және тексеру:

- деформация карталарын жасау үшін интерферометриялық деректерді географиялық координаттарға байланыстыру;

- нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігін тексеру үшін алынған деректерді жердегі өлшемдермен салыстыру (мысалы, GPS деректері).

6. Нәтижелерді талдау және түсіндіру:

- бетінің қозғалысына әсер ететін негізгі факторларды анықтау (мысалы, тектоникалық белсенділік, вулканизм, адам әрекеті);

- деформациялық процестердің модельдерін құру және одан әрі өзгерістерді болжау.

Дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану Жер бетіндегі өзгерістерді егжей-тегжейлі зерттеуге ғана емес, сонымен қатар табиғи және антропогендік процестерді бақылау үшін маңызды болып табылатын болжамды модельдерді жасауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

Атасу темір кен орындарында өңделген аумақтарында жер бетінің шөгуге мониторинг ретінде Sentinel-1b спутниктерінен Sentinel Application Platform (SNAP) бағдарламасында алынған шағылысқан радиолокациялық сигналдар арасындағы фазалық сдсулар есептелді [1]. Есептелген интерферограммалар бойынша 2018 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңде 8 жұп суретке талдау жүргізілді. Зерттеу кезеңінде карьердің бетіне қайта өңдеу жүргізілді. Интерферограммада 2019 жылдан 2021 жылға дейінгі контурлары нақты белгіленген екі жылжымалы мульда бекітілген.

Әрі қарай SNAP бағдарламасында осы кезеңдер бойынша спутниктік суреттерге өңдеу жүргіземіз.

1. Sentinel-1 TOPS (Terrain Observation by Progressive Split)

2. Sentinel S-1 Apply Orbit File (AOF)

3. Coregistration Sentinel S-1 TOPS Coregistration S1 back Geocoding

4. Coregistration Sentinel S-1 Enhanced Spectral Diversity (ESD)

5. Geometric-Range – Doppler Terrain Correction (GRD TC)

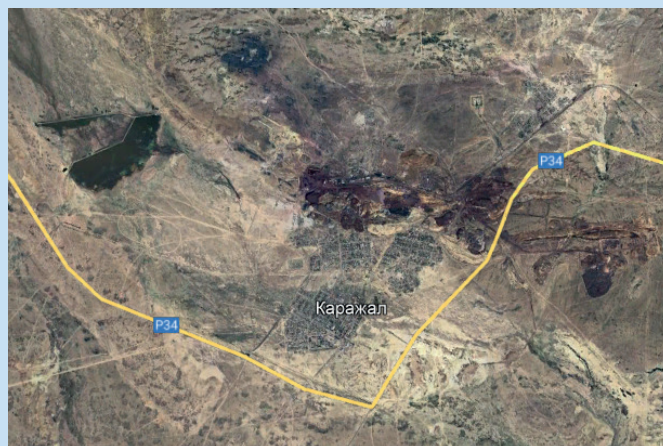
6. Interferometric Interferogram Formation (IFF)

7. Goldstein Phase Filtering

8. Sentinel-1 Raster Subset

Офсеттік картаның құрылысын үш кезеңге бөлуге болады [2]:

- корегентті тіркеу;



Сурет 1. Зерттелген аумақтың бейнесі.

Figure 1. Map of the area under study.

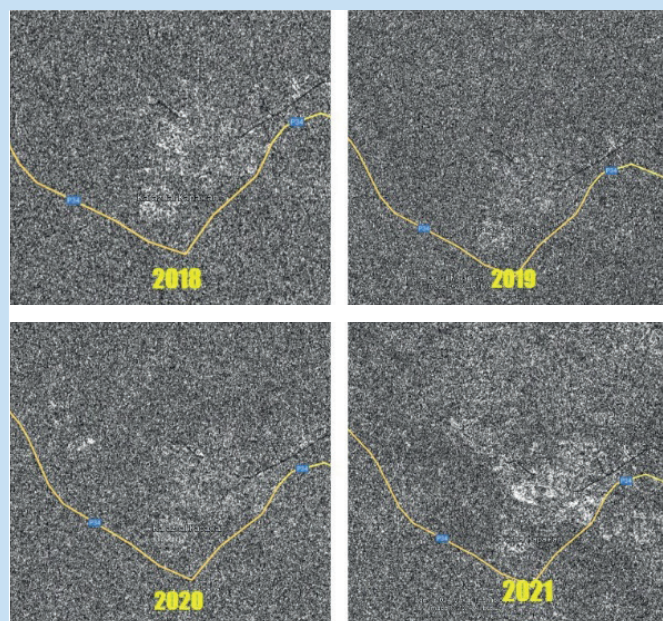
Рис. 1. Карта исследуемого участка.

-дифференциалды интерферограмманың құрылысы;

- орын ауыстыру картасын қалыптастыру.

Геокодтау және калибрлеу Қаражал қаласының рельефінің бұрын алынған цифрлық моделіне қатысты орындалды. Есептеулер көрсеткендей, бұл қайта өңдеу жұмыстары Атасу кен орнында екі шөгү мульдасы қалыптаса бастады. Ол 2019 жылдан 2021 жылға дейін шөгінділер көбейе бастады.

Қажетті калибрленген .tiff файлды алған соң, интерферограмманы Google Earth қосымшасында көрсету үшін kml форматына ауыстырылды (сурет 2).

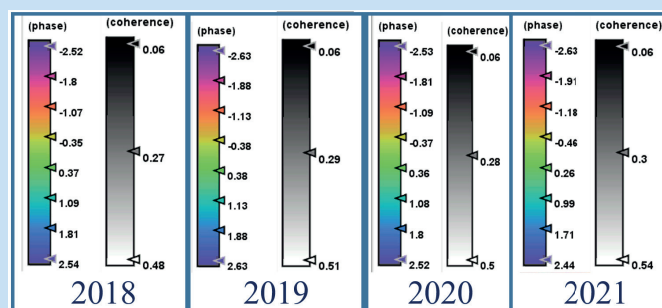


Сурет 2. 2018 жылдан 2021 жылға дейін Sentinel-1b радарлы түсірілімдеріне Атасу кен орындарында когеренттік карталары [авторлар құрастырған].

Figure 2. Construction of a coherence map for the Atasu deposits based on Sentinel-1b radar images from 2018 to 2021 [compiled by the authors].

Рис. 2. Построение карты когерентности на месторождения Атасу на основе радарных снимков Sentinel-1b с 2018 по 2021 гг. [составлено авторами].

Coherence жоғары мәндері суреттердегі фазалар бір-бірімен тығыз байланысты аймақтарды көрсетеді, бұл жер бетінің тұрақтылығын көрсетеді [3, 4]. Төмен coherence мәндері деформация аймақтары сияқты жоғары өзгеру динамикасы бар аймақтарды көрсетеді. Coherence картасы негізінде жер бетінің қозғалысын байқадық. Coherence жоғары болған жағдайда, бетінің қозғалысы аз байқалады, ал төмен coherence айтарлықтай деформациялары бар аймақтарды көрсетеді. Төменде көрстілген кескіндер бойынша Атасу кен орнындағы карьерде төмен когерентті коэффициенті байқалды. Кен орнындағы үйінділерде біз жер бедерінің деформациясы белсенді өзгерісі 2018 және 2021 жылы болғанын көре аламыз (3 сурет).



Сурет 3. 2018–2021 жылдардағы фазалық ауысулар мен когерентті деректердің салыстырмалы талдауы [авторлар құрастырған].

Figure 3. Comparative analysis of phase shifts and coherent data for the years 2018–2021 [compiled by the authors].

Рис. 3. Сравнительный анализ фазовых сдвигов и когерентных данных по годам 2018–2021 гг. [составлено авторами].

Coherence кескінінің нәтижесі (когеренттілік коэффициенті) екі немесе одан да көп SAR (Synthetic Aperture Radar) уақыттың әртүрлі нүктелерінде немесе әртүрлі көру бұрыштарында алынған кескіндер арасындағы корреляция дәрежесінің өлшемі болып табылады. Когеренттілік коэффициенті бір аймақтан алынған екі түрлі суреттегі сигнал фазаларының қаншалықты бірдей екенін көрсетеді (кесте 1).

Кесте 1

Алынған деректерді салыстырмалы талдау

Table 1

Comparative analysis of the data obtained

Таблица 1

Сравнительный анализ полученных данных

Жыл	Phase		Coherence		Орташа есебі	
	min	max	min	max	Phase	Coherence
2018	2.54	-2.5	0.48	0.06	0.07	0.27
2019	2.63	-2.63	0.29	0.06	0	0.29
2020	2.52	-2.53	0.5	0.06	-0.04	0.28
2021	2.44	-2.63	0.54	0.06	-0.78	0.3

Когеренттілік коэффициентінің жоғары мәні суреттер арасындағы күшті корреляцияны және осылайша нәтижелерді сенімді түсіндіруді көрсетеді. Ол тұрақты болып қалатын және деформацияға ұшырамайтын жер бетінің аймақтарын анықтауға, сондай-ақ сейсмикалық аймақтар, белсенді лава ағындары, жер асты суларының төмендеуі және т. б. сияқты жоғары өзгеру динамикасы бар аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Атасу кен орнындағы үлкен қара тесіктерді (шұңқырларды) анықтау кен қазу, қазу немесе басқа құрылыс әрекеттері сияқты тау-кен жұмыстарымен байланысты процестерді көрсетуі мүмкін. Бұл процестер Жер бетінің тұрақтылығының төмендеуіне және шұңқырлардың пайда болуына әкелуі мүмкін [5–8].

Бұл шұңқырлардың пайда болу себептері мен салдарын толық түсіну үшін қосымша зерттеу қажет. Бұған кен орнын геологиялық зерттеу, тау-кен процестерін зерттеу, сондай-ақ жер бетін бақылау деректері және гидрогеологиялық зерттеулер сияқты басқа деректер көздерін талдау кіруі мүмкін. Мұндай кешенді тәсіл шұңқырлардың пайда болу себептерін жақсы түсінуге және кен орнындағы тәуекелдер мен қауіпсіздікті басқарудың тиісті Стратегияларын жасауға мүмкіндік береді [9, 10].

Қорытынды

2018–2021 жылдар аралығында Sentinel-1B спутнигінен алынған мәліметтерге дифференциалды интерферометрия әдісін қолдана отырып жүргізілген зерттеу барысында Атасу кен орнының карьерінде қара тесіктерге ұқсайтын Елеулі деформациялар анықталды. Бұл деформациялар мансаптық инфрақұрылым мен қоршаған орта үшін үлкен проблема болып табылады, оны зерттеу жағымсыз салдардың алдын алу үшін өте маңызды.

Алынған нәтижелерді талдау келесі қорытындылар жасауға мүмкіндік берді:

- *Деформацияларды анықтау*: дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану Атасу кен орнының бетінің қарастырылып отырған уақыт кезеңіндегі сысуын дәл анықтауға мүмкіндік берді. Қара тесіктерге ұқсайтын анықталған деформациялар тау-кен жұмыстары мен карьерді пайдаланудағы күрделі мәселелерді көрсетеді.

- *Теріс әсер*: анықталған қара тесіктер жұмысшылардың қауіпсіздігі мен мансаптық инфрақұрылымға, сондай-ақ қоршаған ортаға қауіп төндіреді. Бұл апаттарға, дұрыс жұмыс істемеуге және табиғи ресурстардың ластануына әкелуі мүмкін.

- *Шаралар қабылдау қажеттілігі*: алынған нәтижелер Атасу кен орнындағы деформацияларды мониторингілеу және басқару жөнінде шаралар қабылдау қажеттігін көрсетеді. Бұл жер бетінің күйін үнемі бақылауды, деформациялардың алдын алу стратегияларын әзірлеуді және жұмысшылар мен қоршаған ортаның қауіпсіздігін қамтамасыз етуді қамтиды.

- *Қосымша зерттеулер*: деформациялардың пайда болу механизмдерін және олардың карьерге әсерін неғұрлым толық түсіну үшін қосымша зерттеулер мен деректерді талдау қажет.

Жалпы, Sentinel-1B деректерінде дифференциалды интерферометрия әдісін қолдану Атасу кен орнының жай-

күйі және деформациялардың алдын алу және олардың қоршаған ортаға және карьер инфрақұрылымына әсерін азайту бойынша шаралар қабылдау қажеттілігі туралы маңызды тұжырымдар жасауға мүмкіндік берді.

Алғыс

Зерттеу Қазақстан Республикасының жас ғалымдардың жобалары бойынша №АР22788508 ғылыми жобасы бойынша орындалды.

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Атасу темір кен орнындағы жер бетінің қозғалысын бақылау нәтижелерінің талдауы / Ф.К. Низаметдинов [және т. б.] // Тау-кен ғылымдары журналы. 2024. Шығ. 3. Б. 183–189 (орыс тілінде)
2. Баймағамбетов С.К., Жұмағалиев Е.Т., Әзімбаев Т.А. Жер бетінің деформацияларын ұзақ мерзімді дифференциалды интерферометрия арқылы бақылау әдісі // ҚазҰУ хабаршысы. 2018. № 137 (6). Б. 159–165 (орыс тілінде)
3. Қасенов Б.М. Қазақстан аймақтарында жер бетінің деформацияларын бағалау үшін дифференциалды интерферометрия негіздері // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары, Геологиялық және техникалық ғылымдар сериясы. 2012. № 5. Б. 70–75 (орыс тілінде)
4. Жұмабаева Г.А., Мұхамбетов Ж.Ж. Жер бетінің мониторингі үшін радиолокациялық деректердің дифференциалды интерферометриясы // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының хабарлары, Геологиялық және техникалық ғылымдар сериясы. 2016. № 4. Б. 74–78 (орыс тілінде)
5. Қазақстанның аридті аймағының тау-кен өнеркәсіптік өндірісі кен орындарының экологиялық қауіпсіздігі мәселесі / Р. Бексеитова [және т. б.] // Геодезия және картография. 2018. № 44 (4). Б. 146–155 (ағылшын тілінде)
6. Жантаев Ж. және т. б. Радиолокациялық интерферометрия пайдалы қазбалар кен орындары мен іргелес урбанизацияланған аумақтарды аймақтық геодинамикалық бақылау әдісі ретінде // Сигналдарды өңдеу шекаралары бойынша 3-ші халықаралық конференция (ICFSP), Париж, Франция, 2017. Б. 86–90 (ағылшын тілінде)
7. Мозер Д.В., Левин Е., Сатбергенова А. К. Sentinel-1A радиолокациялық суреттерін өңдеу нәтижелерінің ауыл шаруашылығы учаскелерінің заттай бақылауларымен ұқсастығын зерттеу // Геодезия және картография. 2019. № 8. Б. 52–58 (орыс тілінде)
8. Шилан Ф., Алиреза С., Мұхаммед К., Шабанов С., Акил Т., Каруппаннан С. (2023 ж. қараша). Өскемендегі өнеркәсіптік қызметтен туындаған ауыр металдардың концентрациясын бағалау үшін Sentinel-2 деректерін пайдалану, Солтүстік-Шығыс Қазақстан. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue) (ағылшын тілінде)
9. Мозер Д.В., Тұяқбай А.С., Гей Н.И. және т. б. Жерсеріктік радиолокациялық интерферометрияны пайдалана отырып, Қарағанды көмір бассейнінің жұмыс істеген аумақтарының мониторингі // Интерэкспо Гео-Сібір, 2014. Т. 4. № 1. Б. 14–18 (орыс тілінде)
10. Кантемиров Ю.И. радиолокациялық интерферометрияның қысқаша теориялық негіздері және оның PS және SBAS көпжақты вариациялары // Геоматика журналы. 2012. № 1. Б. 22–26 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Analiz dvizheniya podrobotannykh uchastkov poverkhnosti na mestorozhdenii zheleznoi rudy Atasu [Analysis of Undermined Ground Surface Movements at the Atasu Iron Ore Deposit], F.K. Nizametdinov [et al.], Zhurnal gornyykh nauk [Journal of Mining Sciences]. 2024. Issue 3. 183–189 pp. (in Russian)
2. Baimaganbetov S.K., Zhumagaliev E.T., Azimbaev T.A. Differentsial'naya interferometriya dlitel'nogo perioda kak sovremennyy metod monitoringa deformatsii zemnoi poverkhnosti [Long-term Differential Interferometry as a Modern Method for Monitoring Ground Surface Deformations], Vestnik KazNU [KazNU Bulletin]. 2018. No. 137 (6). 159–165 pp. (in Russian)
3. Kasenov B.M. Osnovy differentsial'noi interferometrii dlya otsenki deformatsii zemnoi poverkhnosti (na primere regionov Kazakhstana) [Fundamentals of Differential Interferometry for the Assessment of Ground Surface Deformations (on the Example of Kazakhstan Regions)], Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan, Seriya geologicheskaya i tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geological and Technical Sciences]. 2012. No. 5. 70–75 pp. (in Russian)
4. Zhumabayeva G.A., Mukhambetov Zh.Zh. Differentsial'naya interferometriya radiolokatsionnykh dannyykh dlya monitoringa zemnoi poverkhnosti [Differential Interferometry of Radar Data for Ground Surface Monitoring], Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan, Seriya geologicheskaya i tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of the

- Republic of Kazakhstan, Series of Geological and Technical Sciences]. 2016. No. 4. 74–78 pp. (in Russian)
5. The problem of environmental safety of the fields of mining industrial production of arid zone of Kazakhstan / R. Bexeitova [et al.] // *Geodesy and Cartography*. 2018. No. 44 (4). 146–155 pp. (in English)
 6. Z. Zhanatayev et al. SAR interferometry, as a method of area-based geodynamic control on mineral deposits and adjacent urbanized areas // 2017 3rd International Conference on Frontiers of Signal Processing (ICFSP), Paris, France, 2017. 86–90 pp. (in English)
 7. Moser D.V., Levin E., Satbergenova A.K. Issledovanie skhodimosti rezul'tatov obrabotki radiolokatsionnykh snimkov Sentinel-1A s naturnymi nablyudeniyami sel'skokhozyaistvennykh uchastkov [Studying the results of the survey of radar snips Sentinel-1A with natural indicators of rural areas], *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography]. 2019. No. 8. 52–58 pp. (in Russian)
 8. Shilan F., Alireza S., Mohammad K., Sabanov S., Aqil Tariq, Karuppannan S. (November 2023). Using Sentinel-2 data to estimate the concentration of heavy metals caused by industrial activities in Ust-Kamenogorsk, Northeastern Kazakhstan. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue) (in English)
 9. Moser D.V., Tuyakbay A.S., Gay N.I. et al. Monitoring podrabotannykh territorii Karagandinskogo ugol'nogo basseina s ispol'zovaniem sputnikovoi radarnoi interferometrii [Monitoring of the protected territory of the Karaganda Upland basin with the use of satellite radar interferometry], *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia]. 2014. V. 4. No. 1. 14–18 pp. (in Russian)
 10. Kantemirov Yu.I. Kratkie teoreticheskie osnovy radarnoi interferometrii i ee mnogoprokhodnykh variatsii PS i SBas [Brief theoretical bases of radar interferometry and multi-dimensional variations PS and SBas], *Zhurnal Geomatika* [Journal of geomatics]. 2012. No. 1. 22–26 pp. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ движения подработанных участков поверхности на месторождении железной руды Атасу / Ф.К. Низаметдинов [и др.] // *Журнал горных наук*. 2024. Вып. 3. С. 183–189 (на русском языке)
2. Баймаганбетов С.К., Жумагалиев Е.Т., Азимбаев Т.А. Дифференциальная интерферометрия длительного периода как современный метод мониторинга деформаций земной поверхности // *Вестник КазНУ*. 2018. № 137 (6). С. 159–165 (на русском языке)
3. Касенов Б.М. Основы дифференциальной интерферометрии для оценки деформаций земной поверхности (на примере регионов Казахстана) // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геологическая и технических наук*. 2012. № 5. С. 70–75 (на русском языке)
4. Жумабаева Г.А., Мухамбетов Ж.Ж. Дифференциальная интерферометрия радиолокационных данных для мониторинга земной поверхности // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геологическая и технических наук*. 2016. № 4. С. 74–78 (на русском языке)
5. Проблема экологической безопасности месторождений горнорудного промышленного производства аридной зоны Казахстана / Р. Бексеитова [и др.] // *Геодезия и картография*. 2018. № 44 (4). С. 146–155 (на английском языке)
6. Жантаев Ж. и др. Радиолокационная интерферометрия как метод зонального геодинамического контроля месторождений полезных ископаемых и прилегающих урбанизированных территорий // 3-я Международная конференция по рубежам обработки сигналов (ICFSP), Париж, Франция, 2017. С. 86–90 (на английском языке)
7. Мозер Д.В., Левин Е., Сатбергенова А.К. Исследование сходимости результатов обработки радиолокационных снимков Sentinel-1A с натурными наблюдениями сельскохозяйственных участков // *Геодезия и картография*. 2019. № 8. С. 52–58 (на русском языке)
8. Шилан Ф., Алиреза С., Мохаммад К., Сабанов С., Акил Тарик, Каруппаннан С. (Ноябрь 2023 г.) Использование данных Sentinel-2 для оценки концентрации тяжелых металлов, вызванной промышленной деятельностью в Усть-Каменогорске, Северо-Восточный Казахстан. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)09116-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023091168%3Fshowall%3Dtrue) (на английском языке)
9. Мозер Д.В., Туякбай А.С., Гей Н.И. и др. Мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна с использованием спутниковой радарной интерферометрии // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2014. Т. 4. № 1. С. 14–18 (на русском языке)
10. Кантемиров Ю.И. Краткие теоретические основы радарной интерферометрии и ее многопроходных вариаций PS и SBas // *Журнал Геоматика*. 2012. № 1. С. 22–26 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Сатбергенова А.К., т.ғ.м., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан), a.satbergenova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5806-2827>

Зекен А.К., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты, (Қарағанды қ., Қазақстан), zekenovaig@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-5303-8770>

Низаметдинов Ф.К., т.ғ.д., профессор «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, (Қарағанды қ., Қазақстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1933-6351>

Низаметдинов Н.Ф., т.ғ.к., доцент «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Information about the authors:

Satbergenova A.K., Masters of Engineering Sciences, Senior Lecturer of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Zeken A.K., Master's student of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nizametdinov F.K., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nizametdinov N.F. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Surveying and Geodesy», Abylkas Saginov Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Сатбергенова А.К., м.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», «Карагандинский технический университет имени А. Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Зекен А.К., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Низаметдинов Ф.К., д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

Низаметдинов Н.Ф., к.т.н., доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

VIII Геолого-геофизическая
конференция и выставка

**GeoEurasia
2025**

ГеоЕвразия-2025
Геологоразведочные технологии:
наука и бизнес

Современные вызовы –
окно возможностей
для науки и бизнеса

9 направлений программы

17 круглых столов

>500 м² выставка

Участие бесплатное*

*при регистрации до 20.04

**14-16 мая 2025 г.
Москва**

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ



info@gece.moscow
www.gece.moscow

Код МРНТИ 89.57.45

*А.А. Алтаева¹, Б.Б. Садыков², А.Б. Даркенбаева³, А. Таскара¹¹ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан),²ТОО «Leica Geosystems Kazakhstan» (г. Алматы, Казахстан),³Казахский национальный аграрный исследовательский университет (г. Алматы, Казахстан)

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы определения сдвижений и деформаций земной поверхности современными геодезическими методами на территории рудного месторождения. Приведены данные вертикальных подвижек земной поверхности на территории Орловского рудника. Представлены результаты высокоточного нивелирования за период с 2003 г. по 2019 г., позволившие построить графики вертикальных смещений и выполнить анализ изменения положения геодезических реперов. Анализ показал, что на исследуемой территории выявлена зона интенсивного оседания земной поверхности – в районе профильной линии 6ЛШ. Выявленные особенности современных вертикальных движений земной поверхности в зоне профильной линии обусловлены отработкой междукammerных целиков верхних горизонтов и отработкой руд нижних горизонтов.

Ключевые слова: мониторинг, смещения земной поверхности, деформация, высокоточное нивелирование, мульда сдвижения, профильные линии, инструментальные наблюдения.

Орловск кенорнында жер бетінің деформациялық процестерін аспаптық бақылау

Аңдатпа. Бұл мақалада кен орны аумағында заманауи геодезиялық әдістерді қолдана отырып, жер бетінің жылжуын және деформациясын анықтау мәселелері қарастырылған. Орловск кенішінің аумағындағы жер бетінің тік қозғалыстары туралы деректер келтірілген. 2003 жылдан 2019 жылға дейінгі кезеңдегі жоғары дәлдіктегі нивелирлеудің нәтижелері ұсынылған, бұл тік жылжулардың графиктерін құруға және геодезиялық эталондардың жағдайындағы өзгерістерді талдауға мүмкіндік берді. Жүргізілген талдау нәтижесінде, жер бетінің қарқынды шөгу аймағы 6ЛШ профиль сызығы аймағында екені анықталды. Профильдік сызық аймағындағы жер бетінің қазіргі заманғы тік қозғалыстарының анықталған ерекшеліктері жоғарғы горизонттардың камера аралық тіректерін өндіруге және төменгі горизонттардың кендерін өндіруге байланысты.

Түйінді сөздер: бақылау, жер бетінің жылжуы, деформация, жоғарғы дәлдікті нивелирлеу, жылжу мульдасы, профильдік сызықтар, аспаптық бақылаулар.

Instrumental observations of deformation processes of the earth's surface at the Orlovsk's field

Abstract. This article discusses the issues of determining displacements and deformations of the earth's surface using modern geodetic methods in the territory of an ore deposit. Data on vertical movements of the earth's surface on the territory of the Orlovsk's mine are presented. The results of high-precision leveling for the period from 2003 to 2019 are presented, which made it possible to construct graphs of vertical displacements and analyze changes in the position of geodetic benchmarks. The analysis showed that a zone of intense subsidence of the earth's surface was identified in the study area - in the area of profile line 6LSH. The identified features of modern vertical movements of the earth's surface in the zone of the profile line are due to the mining of inter-chamber pillars of the upper horizons and the mining of ores of the lower horizons.

Key words: monitoring, displacement of the earth's surface, deformation, high-precision leveling, displacement trough, profile lines, instrumental observations.

Введение

В настоящее время многие горнодобывающие месторождения перешли к разработке глубокозалегающих сложноструктурных руд, а также вовлекают в добычу полезные ископаемые, расположенные в труднодоступных районах.

Однако, геомеханические и геотехнические процессы осложняют добычу, создавая угрозу для безопасного ведения горных работ, приводя к потерям руды, вызывая разрушение конструктивных элементов горных выработок и повреждения объектов на поверхности. При этом страдают не только инженерные сооружения и здания, неся за собой громадный экономический ущерб, но и возможны невосполнимые человеческие жертвы.

Предотвращение таких проблем в подземном способе разработки месторождений требует ведения постоянного мониторинга за деформациями земной поверхности и горнотехническими объектами, что является одним из основных условий обеспечения безопасности и повышения эффективности горного производства [1].

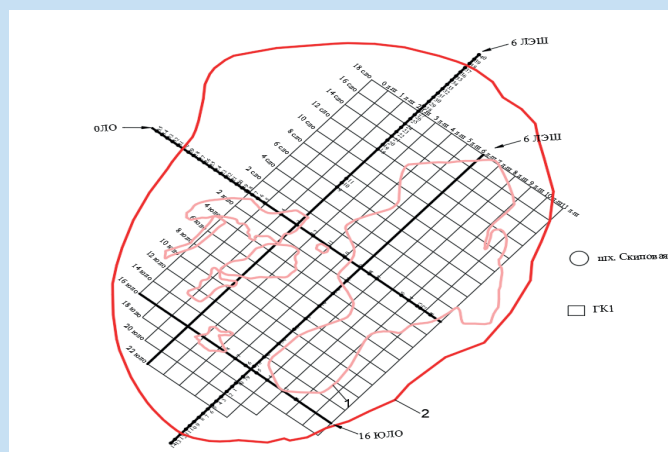
В современных условиях горного производства для проведения мониторинга за деформациями земной поверхности и горнотехнических объектов используют различные маркшейдерско-геодезические методы, в том числе традиционные методы (нивелиры, тахеометры), фотограмметрические (лазерное сканирование, аэрофото-

съёмка с применением беспилотного летательного аппарата) и радиолокационные наблюдения (GPS, спутниковая радиолокационная интерферометрия) [2, 3].

Имеющийся на сегодняшний день достаточно большой опыт геодезического мониторинга деформационных процессов на месторождениях показывает [4, 5], что оседание земной поверхности широко распространено при длительном освоении рудных месторождений и для подавляющего большинства скорости техногенных оседаний составляет 1–2 см/год, а накопленные величины не превышают первых десятков сантиметров. Последствиями таких деформационных процессов могут быть активизация оползневых процессов, появление опасных зон, мульды сдвижения и т.д. [6, 7].

Одним из примеров интенсивного ведения добычных работ на протяжении многих десятилетий является территория Орловского месторождения, в котором образовались обширные сдвижения горных пород, а также оседания и обрушения земной поверхности. Поэтому целью данной статьи является исследование вертикальных смещений земной поверхности и горных пород с применением современных инструментальных технологий.

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности и горных пород на Орловском производственном комплексе начаты в 1991 году после образования провала земной поверхности на пересечении восьмой линии штреков (8ЛШ) и нулевой линии ортов (ОЛО) (рис. 1).



1 – контур рудных залежей; 2 – границы мульды сдвига

Рис. 1. План наблюдательной станции Орловского рудника.

Сурет 1. Орловск шахтасының бақылау станциясының жоспары.

Figure 1. Plan of the Orlovsk's mine observation station.

В 2001 году наблюдения всех предыдущих серий были приведены к требованиям п.5,2 Инструкции по наблюдениям за сдвижением горных пород 1988 г. [8], в части того, что при определении вертикальных сдвижений знак (+) означает оседание, знак (-) – поднятие.

В 2002 году, дополнительно к имеющимся реперам на земной поверхности I были заложены 12 ственных реперов в цокольных частях копров шахт «Орловская», «Скиповая» и «Северная», по 4 репера на каждый копер. При производстве наблюдений 2002 года эти репера были включены в общую систему наблюдательной станции Орловского рудника. В этом же году из ведомостей сдвижения исключены явно ошибочные измерения отдельных периодов, что позволило привести в стройную систему более чем 10-летнего периода.

В 2016 г. в ходе проведения полевых работ, на земной поверхности Орловского месторождения создано 4 профильные линии, опирающиеся на твердые пункты (опорные репера профильных линий).

Характеристика этих ходов приведена в нижеследующей таблице 1.

Величины полученных фактических невязок нивелирных ходов удовлетворяют требованиям п.2.2, 2.3 «Инструкции по наблюдениям за сдвижением» [9].

Материалы и методы

В настоящее время основными геодезическими методами мониторинга за деформациями земной поверхности подземных горных работ являются: наземные инструментальные наблюдения (нивелирование, тахеометры и т. д.), технологии глобальных спутниковых радиолокационных систем (радиолокационная интерферометрия), аэрофотосъемка (аэрофотосъемочный самолет Ан-30, самолет KingAir, вертолет Ка-26, беспилотник Air-Con 2), наземное лазерное сканирование. Помимо вышеперечисленных методов геодезических наблюдений используют визуальное наблюдение.

В данной работе рассмотрен актуальный вопрос сдвижения земной поверхности, выполняемый методами неоднократного высокоточного нивелирования.

Результаты и обсуждения

По результатам инструментальных наблюдений на Орловском месторождении за период 2003–2019 гг. было выполнено 16 серий инструментального мониторинга по 4-м профильным линиям: 2ЛЭШ, 0ЛО, 6ЛШ, 16ЮЛО.

По каждой из профильных линий проведено 16 серий измерений за период с 12.03.2003 г. по 28.05.2019 г. Подробные результаты измерений представлены в отчетах ТОО «Востокцветмет» Орловского производственного комплекса [10].

Далее по результатам полученных данных были выполнены уравнивания превышений между реперами по всем

Таблица 1

Характеристика ходов нивелирования

Кесте 1

Нивелирлеу жүрістерінің сипаттамасы

Table 1

Characteristics of leveling strokes

№ ходов	Начальный и конечный репер ходов	Длина ходов, км	Допустимая невязка ходов, мм $F_{доп.} = \pm 50\sqrt{L}$	Фактическая невязка, мм
1	R-22 2ЛШ R-40 2ЛШ	3,0	86,6	84,13
2	R-10-13; R-30 6ЛШ R-2-8 6ЛШ	6,7	129,4	26,9
3	R-1-5 17ЮЛО R-1 17ЮЛО	1,0	50	20,58
4	R-8 12ЮЛО	0,13	18	1,4
5	R-2-7 16ЮЛО R-2 16ЮЛО	1,8	67	23,4

профильным линиям с данными всех циклов наблюдений, начиная с 2003 года [11, 12].

Профильная линия 6ЛШ

По профильной линии 6ЛШ наблюдения ведутся по 22-м рабочим реперам. В 2000 году рабочий репер 9 после заметного оседания уничтожился. Также, были исключены следующие наблюдательные репера в связи уничтожением: 9, 5 и 14. На рис. 3 показан график вертикальных деформаций и изменения наблюдательных реперов по профильной линии 6ЛШ за период с 2000 г. по 2019 г., т. к. данная профильная линия находится в зоне интенсивного оседания земной поверхности.

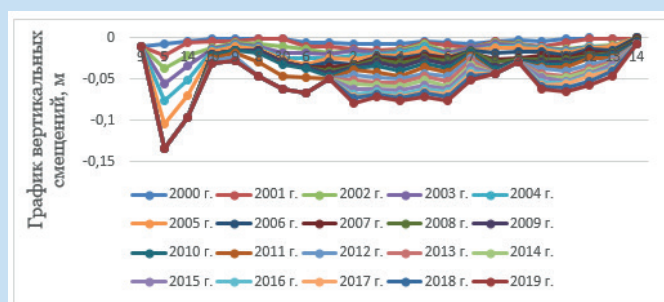


Рис. 2. График вертикальных деформаций наблюдательных реперов профильной линии 6ЛШ за период с 2000 г. по 2019 г.

Сурет 2. 2000–2019 жылдар аралығындағы 6ЛШ профиль сызығының бақылау көрсеткіштерінің тік деформацияларының графигі.

Figure 2. Graph of vertical deformations of observation benchmarks of profile line 6LSh for the period from 2000 to 2019.

Также, в таблице 2 показано динамическое состояние наблюдательных реперов по профильной линии 6ЛШ.

Согласно таблицы 7 наблюдательные репера профильной линии 6ЛШ находятся в зоне интенсивного оседания, о чем свидетельствует уничтожение следующих наблюдательных реперов 9*, 5*, 14*, 8, 9, 14 в 2012 г., также, наблюдательные репера 10*, 9*, 8*, 30, 6* в 9-й серии наблюдений, но в 11-й серии 10* наблюдательный репер, и в 12-й серии вышеперечисленные репера были заново заложены. Однако, после 3-х серий измерений данные репера также уничтожились. Для более детального анализа необходимо провести мониторинг методом космической радиолокационной интерферометрии.

По профильной линии ОЛО наблюдения ведутся по 20-ти рабочим реперам. В 2012 году рабочие репера 35, 25, 23, 20, 15 из за интенсивного оседания были уничтожены. В 2013 году рабочие репера 28, 19, 18, 17, 16 также были уничтожены. Однако, в 2014 году все существующие репера были полностью уничтожены (рис. 3).

Анализ оседаний по профильной линии ОЛО, полученных по результатам многократного нивелирования, показывает, что интенсивные оседания земной поверхности наблюдаются в 2012 г. (рис. 3). Необходимо отметить, что с активном ведением горных работ в 2014 году все существующие рабочие репера были уничтожены. В связи с этим, для более детального анализа необходимо провести

мониторинг методом космической радиолокационной интерферометрии.

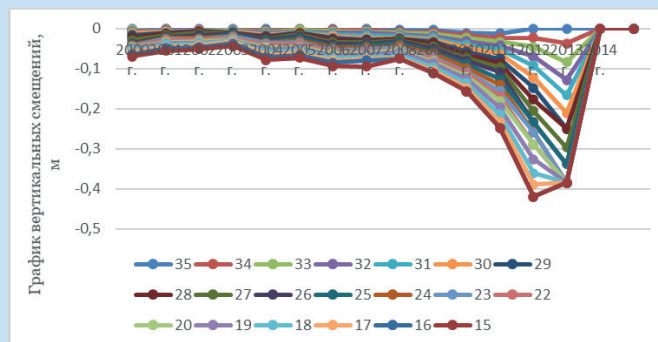


Рис. 3. График вертикальных деформаций наблюдательных реперов профильной линии ОЛО за период с 2000 г. по 2014 г.

Сурет 3. 2000–2014 жылдар аралығындағы ОЛО профиль сызығының бақылау көрсеткіштерінің тік деформацияларының графигі.

Figure 3. Graph of vertical deformations of observational benchmarks of profile line ОЛО for the period from 2000 to 2014.

Профильная линия 2ЛЭШ

По профильной линии 2ЛЭШ наблюдения ведутся от 13* до 40 рабочих реперов. В 2007 году из за интенсивного ведения горных работ рабочие репера 9, 10, 11, 18, 31 и 36 были уничтожены. В 2014 году также были уничтожены 21, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40 репера. Подробный график сравнения полученных в результате уравнивания превышений между реперами профильной линии с данными всех циклов с 2000 года приведен на рис. 4.

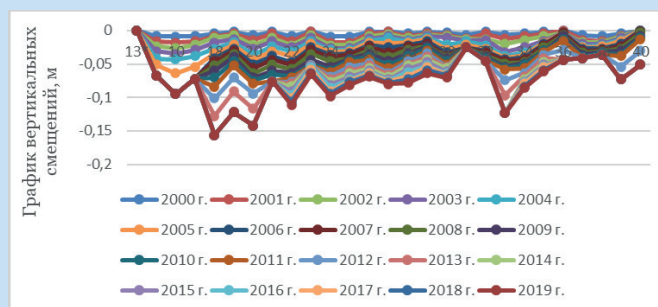


Рис. 4. График вертикальных деформаций наблюдательных реперов профильной линии 2ЛЭШ за период с 2000 г. по 2019 г.

Сурет 4. 2000–2019 жылдар аралығындағы 2ЛЭШ профильді сызығының бақылау көрсеткіштерінің тік деформацияларының графигі.

Figure 4. Graph of vertical deformations of observational benchmarks of the 2LSh profile line for the period from 2000 to 2019.

Анализ результатов, полученных по результатам многократного нивелирования, показывает, что интенсивные оседания земной поверхности наблюдаются в 2006 и 2013 годах (рис. 4). Также, в 2015 году 13*, 9, 10, 11, 18, 36, 37,

Таблица 2

Состояние наблюдательных реперов по профильной линии 6ЛШ

Кесте 2

6ЛШ профиль сызығы бойынша бақылау реперлерінің күйі

Table 2

State of observation markers along profile line 6LSH

РЕПЕРА	Серия																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
9*																			
5*																			
14*																			
10*																			
9**																			
8*																			
30																			
6*																			
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
Новые	22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0
Действующие	0	20	20	20	20	20	20	19	14	14	16	15	17	15	10	10	10	10	10
Уничтоженные	0	2	0	2	2	2	2	2	8	8	5	3	5	7	12	12	12	12	12

38, 39 и 40 рабочие репера уничтожились. Для детального анализа необходимо провести мониторинг методом космической радиолокационной интерферометрии.

Необходимо отметить, что при подземной разработке рудных месторождений нарушается устойчивость вмещающих пород и в области влияния горных выработок возникает сдвигание породной массы. По мере увеличения размеров выработанного пространства область влияния горных выработок увеличивается и процесс сдвигания пород достигает земной поверхности. Различные точки в толще пород и на земной поверхности сдвигаются не одинаково, в результате возникают вертикальные (наклоны, кривизна) и горизонтальные (растяжения, сжатия) деформации, трещины, уступы, провалы. Чтобы прогнозировать возможные развития критических ситуаций обязательно нужно знать величины сдвижений и деформаций земной поверхности, для этого необходимо выполнять системати-

ческий мониторинг в соответствии с требованиями «Инструкции по наблюдению за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений». В соответствии с этой инструкцией перед началом горных работ проводят закладку рабочих реперов по основным профильным линиям, расположенным по простиранию и вкrest рудной залежи. Как правило, по простиранию – одна профильная линия, вкrest простирания – две.

К примеру (рис. 1) на земной поверхности Орловского месторождения имеются одна профильная линия вкrest простирания 0ЛО (нулевая линия орта) и две профильные линии по простиранию 8ЛШ (восьмая линия штрека) и 2ЛШ (вторая линия штрека).

При таком построении значительная часть земной поверхности оказывается вне мониторинга, осуществляемого через наблюдательные станции основных профильных

линий. В то же время, по мере освоения месторождения расширяется площадь поверхности, попадающей в зону влияния инициированных горными работами геомеханических процессов. Ситуация усугубляется большой потерей на профильных линиях рабочих реперов. На рис. 5 показано процентное соотношение новых, действующих, согнутых, затопленных и уничтоженных реперов по 16-ти сериям наблюдений для всех наблюдательных станций Орловского месторождения.

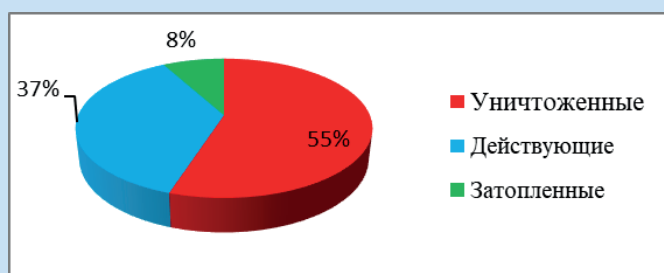


Рис. 5. Процентное соотношение уничтоженных, действующих, новых и затопленных наблюдательных реперов.

Сурет 5. Жойылған, белсенді, жаңа және батқан бақылау көрсеткіштерінің пайызы.

Figure 5. Percentage of destroyed, active, new and sunk observation markers.

В связи с этим возникает необходимость построения дополнительных профильных линий для поддержания эффективности мониторинга.

По инструкции места закладки дополнительных профильных линий устанавливаются, исходя из конкретных задач, которые необходимо решить на месторождении, на расстоянии, равном 3–5 принятым интервалам между реперами. Построение дополнительных профильных линий с закладкой новых наблюдательных станций, организация и проведение на них высокоточного нивелирования в разы увеличивает затраты на мониторинг. Рациональная концепция предлагаемого геодезического мониторинга заключается в целенаправленном выборе дополнительной профильной линии, ориентированной на проблемные участки поверхности, выявленной зонным районированием.

Для каждой точки земной поверхности значение потенциала выносится на план. На плане методом экстраполяции соединяют точки с одинаковым значением потенциала изолиниями. Такие линии являются эквипотенциальными и описываются уравнением $\varphi(x, y) = const$. Эквипотенциальную линию можно провести через любую точку поверхности месторождения. Следовательно, таких линий может быть построено бесконечное множество. Поэтому, уславливают проводить линии так, чтобы разность потенциалов для двух соседних линий была бы одна и та же. По сгущению изолиний можно судить об интенсивности ожидаемого развития процесса горных пород. Направление наибольшего сгущения линий по определению указывает градиент потенциала. Чем больше градиент, тем больше густота сгущения. Для ранжирования зон по степени проблемности в соответствии с решаемой задачей определяется количество уровней проблемности N , на которой не-

обходимо разделить поверхность месторождения, откуда вытекает количество граничных критериев $l (N = l + 1)$.

Численное значение критерия зонирования для каждого месторождения устанавливается на основе ретроспективного, причинно-следственного анализа происходящих геодинамических событий, с учетом структурных особенностей массива горных пород (геологическое строение, тектоническое нарушение, трещиноватость, применяемые системы разработок), физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния горного массива. Критерий принимается единым по всему месторождению.

Как показывает практика зонирования, оптимальный вариант деления на три уровня проблемности (рис. 6):

1-3 – неопасный (зеленый);

2-О – опасный (оранжевый);

3-К – особо опасный (красный).

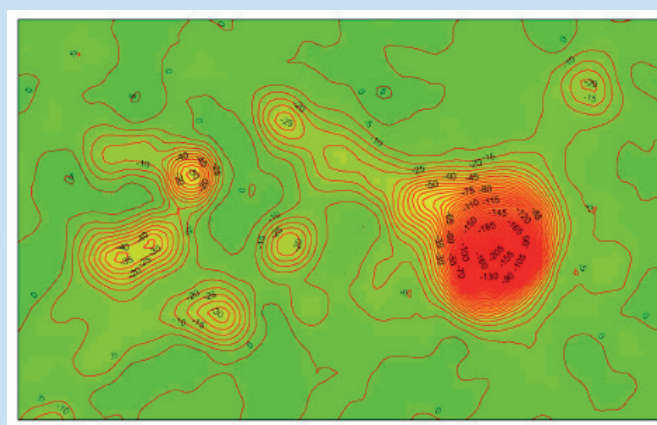


Рис. 6. Зоны наибольшего риска поверхности месторождения.

Сурет 6. Кен орны бетінің ең қауіпті аймақтары.

Figure 6. Areas of greatest risk of the deposit surface.

В этом случае устанавливаются два численных значения K_1 и K_2 . На плане месторождения зоны по уровням разделяются эквипотенциальными линиями $\varphi(x, y) = K_1$ и $\varphi(x, y) = K_2$. Для детализации районирования уровни квантуются на подуровни с одинаковой разностью потенциала $\Delta\varphi$ между собой, определяемой:

$$\Delta\varphi = \frac{K_2 - K_1}{h},$$

где h – число подуровней. Каждый подуровень зоны обозначается латинскими буквами: a (граничный) $b, c, d, f \dots$

Зоны одного уровня проблемности ранжируются по мере возрастания потенциала граничной изолинии с присвоением порядкового номера. Точки наблюдения индексируются по следующей схеме: буква означает уровень опасности зоны, последующая цифра – порядковый номер зоны уровня, латинская буква – подуровень зоны, следующая цифра – порядковый номер точки на подуровне (Пример: O2d1).

Выводы

Результаты инструментального наблюдения за деформационными процессами земной поверхности Ор-

ловского месторождения позволяют сделать следующий вывод:

- установлено, что при обработке залежи Новое-Север скорость оседания профильной линии ОЛО увеличивается пропорционально времени и носит экспоненциальный характер;

- по результатам инструментальных наблюдений выявлена зона интенсивного оседания земной поверхности – в районе профильной линии БЛШ. Выявленные особенности современных вертикальных движений земной поверхности в зоне профильной линии обусловлены обработкой междуканерных целиков верхних горизонтов и обработкой руд нижних горизонтов;

- имеющиеся поперечные и продольные профильные линии на поверхности месторождения не достаточны для выполнения полноценного инструментального наблюдения, поэтому необходимо построить дополнительные линии;

- для оптимального выбора точек наблюдений необходимо воспользоваться преимуществами профильных линий и возможностями навигационных линий измерений, объединив их в единую систему. Все точки наблюдения, находящиеся на одной изолинии, по условиям районирования идентичны по отношению к проблемности исследуемого участка поверхности. Более того, участки земной поверхности, относящиеся к разным зонам, но лежащие

на эквипотенциальных линиях одной величины, также являются идентичными по отношению к проблемности своего состояния. Поэтому геодезические наблюдения за сдвижением земной поверхности могут ограничиваться мониторингом состояния одного произвольно выбранного участка, транслируя результаты измерений на соответствующие идентичные участки. Это позволяет значительно уменьшить время мониторинга всей поверхности и увеличить частоту измерений за счет его локализации и значительно снизить затраты. Информативность и объективность результата мониторинга напрямую зависит от оптимального выбора на поверхности месторождения мест геодезических наблюдений.

Статья написана по результатам диссертационной работы автора статьи Алтаевой А.А. на тему: «Совершенствование методики геодезических наблюдений земной поверхности Орловского рудника с применением ГИС-технологий», г. Алматы, 2022 г.

Благодарность

Автор выражает благодарность сотрудникам геотехнического отдела Орловского производственного комплекса ТОО «Востокцветмет», сотрудникам отдела геомеханики Института горного дела имени Д.А. Кунаева за помощь при написании и подготовке статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wetren J. Применение радиолокационной интерферометрии с синтезированной апертурой для мониторинга оседания горных пород на западе США / Международный журнал горной науки и технологий. 2020. Т. 30. Вып. 1. С. 33–37 (на английском языке)
2. Филипяк К. Мониторинг проседания грунта, вызванного добычей полезных ископаемых, путем интеграции дифференциальной радиолокационной интерферометрии и методов постоянного рассеивателя // Европейский журнал дистанционного зондирования. 2021. Т. 54. С. 241–245 (на английском языке)
3. Нараян Сангам. Исследования ДЗЗ и ГИС при разведке полезных ископаемых – научный подход // VFSTR Journal of STEM. 2017. Т. 3. № 1. С. 15–17 (на английском языке)
4. Экологический кодекс Республики Казахстан. Принципы международного сотрудничества Республики Казахстан в области охраны окружающей среды: утв. 2 января 2021 года, № 400-VI ЗРК 22.03.2021 (на русском языке)
5. Экологический кодекс Республики Казахстан. Экологическая информация: утв. 2 января 2021 года, № 400-VI ЗРК 23.10.2020 (на русском языке)
6. Пономаренко М.Р., Одабаи-Фард В.В. Геодинамический мониторинг земной поверхности объектов горнодобывающей промышленности при помощи метода радарной интерферометрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 11. С. 59–67 (на русском языке)
7. Чабдарова Ю.И., Шамганова Л.С., Тулебаев К.К., Битимбаев М.Ж. Динамика деформационных процессов и параметры сдвижения земной поверхности при повторной обработке камерно-столбовой системой // Матер. межд. научн. конф. «Инженерное образование и наука в 21 веке: Проблемы и перспективы», Алматы, 2015. С. 255–258 (на русском языке)
8. Орлов Г.В. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки: М.: Недра, 2017. 198 с. (на русском языке)
9. Построение цифровых моделей рельефа по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR. / Ю.Б. Баранов [и др.] // Геоматика. 2016. № 4. С. 358–361 (на русском языке)
10. Отчет о наблюдениях за сдвижением земной поверхности и охраняемых объектов на Орловском производственном комплексе. Исп. Мусатаева С.Ж., п. Жезкент, 2016, С. 10–19 (на русском языке)
11. Алтаева А.А., Шамганова Л.С., Журнов А.А. Цифровое моделирование поверхности Орловского месторождения с использованием геоинформационных технологий // Горный журнал. 2019. № 4. С. 77–80 (на английском языке)

12. Алтаева А.А. Применение спутниковой радиолокационной интерферометрии в горнодобывающей промышленности // Материалы международной научной конференции. «Инновационные технологии – залог успешного решения фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики Республики Казахстан», Алматы, 2019. Т. 1. С. 1013–1014 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Wempen J. АҚШ-тың батысындағы шахтаның шөгуін бақылау үшін синтетикалық диафрагмалық радар интерферометриясын қолдану // Тау-кен ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы. 2020. Т. 30. Шығ. 1. Б. 33–37 (ағылшын тілінде)
2. Filipiak K. Дифференциалды радар интерферометриясын және тұрақты шашырау әдістерін біріктіру арқылы тау-кен өндіруден туындаған шөгуді бақылау // Еуропалық қашықтықтан зондтау журналы. 2021. Т. 54. Б. 241–245 (ағылшын тілінде)
3. Нараян Сангам. Пайдалы қазбаларды барлаудағы RS және GIS зерттеулері – ғылыми көзқарас // VFSTR Journal of STEM. 2017. Т. 3. № 1. Б. 15–17 (ағылшын тілінде)
4. Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі. Қазақстан Республикасының қоршаған ортаны қорғау саласындағы халықаралық ынтымақтастығы қағидаттары: бекітілді. 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ЗРК 22.03.2021 (орыс тілінде)
5. Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі. Қоршаған орта туралы ақпарат: бекітілген. 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ЗРК 23.10.2020 (орыс тілінде)
6. Пономаренко М.Р., Одабаи-Фард В.В. Радиолокациялық интерферометрия әдісімен тау-кен өнеркәсібі объектілерінің жер бетінің геодинамикалық мониторингі // Тау-кен ақпараты және аналитикалық бюллетень. 2017. № 11. Б. 59–67 (орыс тілінде)
7. Чабдарова Ю.И., Шамганова Л.С., Төлебаев Қ.Қ., Бітімбаев М.Ж. Бөлме-бағаналы жүйемен қайталап қазу кезінде деформациялық процестердің динамикасы және жер бетінің жылжу параметрлері // Халықаралық ғылыми конференция материалдары «21 ғасырдағы инженерлік білім және ғылым: мәселелері мен болашағы», Алматы, 2015. Б. 255–258 (орыс тілінде)
8. Орлов Г.В. Жер асты қазбаларының әсерінен тау жыныстары мен жер бетінің қозғалысы: М.: Недра, 2017, 198 б. (орыс тілінде)
9. ALOS PALSAR радиолокациялық кескіндерін интерферометриялық өңдеу нәтижелері бойынша цифрлық рельефті құру / Ю. Баранов [және т. б.] // Геоматика. 2016. № 4. Б. 358–361 (орыс тілінде)
10. Орел өнеркәсіп кешеніндегі жер бетінің және қорғалатын объектілердің қозғалысын бақылау туралы есеп. Орынд. Мұсатаева С.Ж., Жезкент, 2016, Б. 10–19 (орыс тілінде)
11. Алтаева А.А., Шамганова Л.С., Журнов А.А. Орлов кен орны бетін геоақпараттық технологиялар арқылы цифрлық модельдеу // Тау-кен журналы. 2019. № 4. Б. 77–80 (ағылшын тілінде)
12. Алтаева А.А. Тау-кен өнеркәсібінде спутниктік радиолокациялық интерферометрияны қолдану // Халықаралық ғылыми конференция материалдары «Инновациялық технологиялар – Қазақстан Республикасы экономикасының кен және мұнай-газ секторындағы іргелі және қолданбалы міндеттерді табысты шешудің кепілі», Алматы, 2019. Т. 1. Б. 1013–1014 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Wempen J. Application of synthetic aperture radar interferometry for mine subsidence monitoring in the western United States / International Journal of Mining Science and Technology. 2020. V. 30. Issue 1. 33–37 pp. (in English)
2. Filipiak K. Monitoring mining-induced subsidence by integrating differential radar interferometry and persistent scatterer techniques // European journal of remote sensing. 2021. V. 54. 241–245 pp. (in English)
3. Narayan Sangam. RS and GIS Studies in Mineral Exploration – a Scientific Approach // VFSTR Journal of STEM. 2017. V. 3. No. 1. 15–17 pp. (in English)
4. Ekologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan. Printsipy mezhdunarodnogo sotrudnichestva Respubliki Kazakhstan v oblasti okhrany okruzhayushchei sredy: utv. 2 yanvarya 2021 goda, № 400-VI ZRK 22.03.2021 [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Principles of international cooperation of the Republic of Kazakhstan in the field of environmental protection: approved. January 2, 2021, No. 400-VI ZRK 03/22/2021] (in Russian)
5. Ekologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan. Ekologicheskaya informatsiya: utv. 2 yanvarya 2021 goda, № 400-VI ZRK 23.10.2020 [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Environmental information: approved. January 2, 2021, No. 400-VI ZRK 10/23/2020] (in Russian)

6. Ponomarenko M.R., Odabai-Fard V.V. *Geodinamicheskii monitoring zemnoi poverkhnosti ob"ektov gornodobyvayushchei promyshlennosti pri pomoshchi metoda radarnoi interferometrii* [Geodynamic monitoring of the earth's surface of mining industry objects using the radar interferometry method], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2017. No. 11. 59–67 pp. (in Russian)
7. Chabdarova Yu.I., Shamganova L.S., Tulebaev K.K., Bitimbaev M.Zh. *Dinamika deformatsionnykh protsessov i parametry sdvizheniya zemnoi poverkhnosti pri povtornoі otrabotke kamerno-stolbovoi sistemoi* [Dynamics of deformation processes and parameters of displacement of the earth's surface during repeated mining with a room-and-pillar system], *Mater. mezhd. nauchn. konf. «Inzhenernoe obrazovanie i nauka v 21 veke: Problemy i perspektivy»* [Proceedings of the international scientific conference. «Engineering education and science in the 21st century: Problems and prospects»], Almaty, 2015. 255–258 pp. (in Russian)
8. Orlov G.V. *Sdvizhenie gornykh porod i zemnoi poverkhnosti pod vliyaniem podzemnoi razrabotki* [Movement of rocks and the earth's surface under the influence of underground mining], Moscow: Nedra, 2017, 198 p. (in Russian)
9. *Postroenie tsifrovyykh modelei rel'efa po rezul'tatam interferometricheskoi obrabotki radiolokatsionnykh izobrazhenii ALOS PALSAR* [Construction of digital terrain models based on the results of interferometric processing of ALOS PALSAR radar images], Yu.B. Baranov [and others] // *Geomatika* [Geomatics]. 2016. No. 4. 358–361 pp. (in Russian)
10. *Otchet o nablyudeniyakh za sdvizheniem zemnoi poverkhnosti i okhranyaemykh ob"ektov na Orlovskom proizvodstvennom komplekse. Isp. Musataeva S.Zh., p. Zhezkent, 2016, S. 10–19* [Report on observations of the movement of the earth's surface and protected objects at the Oryol industrial complex. Performer: Musataeva S.Zh., Zhezkent, 2016, 10-19 pp.] (in Russian)
11. Altaeva A.A., Shamganova L.S., Zhirnov A.A. *Digital simulation of the Orlov deposit surface using geoinformation technologies* // *Mining magazine*. 2019. No. 4. 77–80 pp. (in English)
12. Altayeva A.A. *The use of satellite radar interferometry in the mining industry. // Materials of the international scientific conference «Innovative technologies – the key to the successful solution of fundamental and applied problems in the ore and oil and gas sectors of the economy of the Republic of Kazakhstan», Almaty, 2019. V. 1. 1013–1014 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Алтаева А.А., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), a.aselya_92@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1675-6828>

Садықов Б.Б., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, ТОО «Leica Geosystems Казахстан» (г. Алматы, Казахстан), batyrkhan_sadykov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2037-247X>

Даркенбаева А.Б., докторант кафедры «Земельные ресурсы и кадастр», Казахский национальный аграрный исследовательский университет (г. Алматы, Казахстан), darkenbayevaasel@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-7115-8951>

Тасқара А., студент кафедры «Геодезия и картография, кадастр», ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), taskara_a@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-3556-6351>

Авторлар туралы мәліметтер:

Алтаева А.А., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Садықов Б.Б., Ph.D, қауымдастырылған профессор, «Leica Geosystems Қазақстан» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Даркенбаева А.Б., «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының докторанты Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Тасқара А., Геодезия және картография, кадастр кафедрасының студенті, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Altayeva A.A., Ph.D doctor, associate professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)

Sadykov B.B., Ph.D doctor, associate professor, Leica Geosystems Kazakhstan LLP (Almaty, Kazakhstan)

Darkenbaeva A.B., doctoral student of the Department of Land Resources and Cadastre, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan)

Taskara A., student of the Department of Geodesy and Cartography, Cadastre of the International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)

miningmetals

UZBEKISTAN

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

2025

28 | 29 | 30 Октября
Ташкент, Узбекистан



Iteca Exhibitions

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

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



Код МРНТИ 52.45.21

*А. Доберсек, А. Кирнарский

«Инжиниринг Доберсек ГмбХ» (г. Менхенгладбах, ФРГ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОВЕРШЕНСТВО ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Аннотация. Произведена оценка технологического совершенства технологии обогащения магнетитовой руды на основании прямого замера эффективности классификации, мокрой магнитной сепарации, дещламии и флотации. Эффективность классификации колеблется в пределах 38 ... 55%, магнитной сепарации – 9 ... 52%, магнитной дещламии – 32 ... 37 %. Селективность процесса ММС находится на уровне 2,62, а обратной флотации – 2,27 ... 4,80. Такой уровень эффективности и селективности сепарационных процессов недостаточно высок для достижения высоких качественно-количественных показателей и требует технологических инноваций для улучшения совершенства существующих технологий и оборудования при переработке железных руд.

Ключевые слова: обогащение руды, железная руда, классификация, переработка, концентрат железорудный, грохот, рудоподготовка.

Темір кенін байыту үдерістерінің технологиялық кемелділігі

Аңдатпа. Магнетит кенін байыту технологиясының технологиялық кемелділігі классификацияның, дымкыл магниттік сепарацияның, дещламацияның және флотацияның тиімділігін тікелей өлшеу негізінде бағаланды. Классификацияның тиімділігі 38 ... 55% аралығында, магниттік сепарацияның тиімділігі 9 ... 52%, магниттік дещламацияның тиімділігі 32 ... 37% аралығында өзгеріп отырады. ММС процесінің селективтілігі 2,62 деңгейінде, ал кері флотацияның селективтілігі 2,27 ... 4,80 аралығында. Сепарациялық процестердің мұндай тиімділік және селективтілік деңгейі сапалық және сандық көрсеткіштерге жету үшін жеткіліксіз және темір кендерін қайта өңдеу кезінде қолданыстағы технологиялар мен жабдықтардың жетілдірілуін қажет етеді.

Түйінді сөздер: кенді байыту, темір кен кені, сыныптама, қатты қалдықтарды, темір кен қойыртыпасы, таселек, кенөзірлек.

Technological excellence of iron ore beneficiation processes

Abstract. The technological excellence of the magnetite ore beneficiation technology has been evaluated based on the direct measurement of the efficiency of classification, wet magnetic separation, desliming, and flotation. The classification efficiency ranges from 38% to 55%, magnetic separation from 9% to 52%, and magnetic desliming from 32% to 37%. The selectivity of the WMS process is at the level of 2.62, and reverse flotation at 2.27 to 4.80. This level of efficiency and selectivity of the separation processes is not sufficiently high to achieve high-quality and quantitative indicators and requires technological innovations to improve the perfection of existing technologies and equipment for iron ore processing.

Key words: ore dressing, iron ore, classification, recycling, iron-ore concentrate, sifter.

Критерии технологического совершенства процессов обогащения

Обогащение железной руды традиционно включает процессы магнитной сепарации, классификации, дещламии, флотации, измельчения. Для оценки технологического совершенства применяемой технологии обогащения железной руды провели генеральное опробование технологических секций обогатительных фабрик железорудных горно-обогатительных комбинатов, рассчитали фактические качественно-количественные показатели и на их основе определили эффективность сепарационных процессов.

Эффективность классификации определяется по формуле:

$$E = [(a - \theta) \cdot (\beta - a) / ((1 - a) \cdot a \cdot (\beta - \theta))] \cdot 100, \% \quad (1)$$

где α , β , θ – содержание расчетного класса соответственно в питании, сливе и песках классификатора, д.е.

Эффективность магнитного разделения – это приращение массы железа общего в концентрате при реальном обогащении к приращению массы концентрата при теоретически достижимом обогащении, когда в концентрат извлекается все железо. Эффективность мокрой магнитной сепарации η определяется по формуле:

$$\eta = [(\varepsilon - \gamma) \cdot (100 - \alpha_{\min})] \cdot 100, \% \quad (2)$$

где ε – извлечение железа в концентрат;

γ – выход концентрата;

$\alpha_{\min}$ – содержание в руде минерала в питании сепаратора, %.

При обогащении магнетитовой руды $\alpha_{\min}$ принимается равным $(\alpha_{72,4} \cdot 100, \%)$, где α – содержание железа общего в питании, %; 72,4 – содержание железа в магнетите, %.

Эффективность гравитационного и флотационного обогащения определяется по формуле [1]:

$$\eta = [(\varepsilon - \gamma) / (100 - \alpha)] \cdot 100, \% \quad (3)$$

где ε – извлечение железа общего в концентрат;

γ – выход концентрата;

α – содержание в исходном продукте железа общего, %.

Общая эффективность применяемой технологии обогащения (η_o) определяется как произведение частных значений эффективности последовательных технологических процессов.

Эффективность классификации, магнитного и гравитационного разделения может определяться также по кривой распределения Тромпа как среднее вероятное отклонение (E_{pm}) и погрешность разделения (I), но для этого необходимо произвести плотностной анализ в тяжелых жидкостях (бромформ $CHBr_3$, жидкость Клеричи – раствор солей таллия).

Коэффициент селективности магнитного обогащения определяется как отношение магнитных восприимчивостей разделяемых частиц χ_a/χ_b более магнитных χ_a и менее магнитных χ_b . Так как удельная магнитная восприимчивость не зависит от напряженности поля и формы зерен, то среднее значение χ_{cp} вычисляется как средневзвешенная величина с учетом содержания сродков в данном продукте.

Коэффициент селективности флотации магнетитового концентрата определяется по формулам А.М. Годэна [2] и С.И. Митрофанова [3] соответственно:

$$K_{SG} = \sqrt{[(E_1(1-E_2))/(E_2(1-E_1))]} \quad (4.1)$$

$$K_{SM} = \lg[(1/(1-E_1))/\lg(1/(1-E_2))], \quad (4.2),$$

где E_1 и E_2 – извлечение магнетита и кремния в камерный продукт соответственно.

Энергоэффективность технологического процесса и технологии в целом определяется удельным расходом электроэнергии на 1 т исходной руды и/или концентрата

(кВт·час/т). Чем эффективнее процесс технологически, тем меньше его энергоемкость и выше рентабельность предприятия в целом.

1. Эффективность классификации

Технологическое совершенство технологии обогащения железной руды оценивалось постадиально по каждому переделу. Результаты классификации в спиральных классификаторах на первой стадии и в гидроциклонах на последующих стадиях измельчения в замкнутом цикле с шаровыми мельницами сведены в таблицу 1. Эффективность классификации определялась по формуле 1.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о низком извлечении готового класса в сливной продукт и значительном его извлечении в пески классификации. Так, на третьей стадии измельчения – классификации в условиях СевГОКа на ОФ – 1 по первой очереди на секции № 3–4 содержание класса менее 56 мкм достигает 72%, а по второй очереди на секции № 24 – 75%. Чем ниже эффективность классификации, тем выше циркуляционная нагрузка, переизмельчение раскрытых рудных зерен, ошламование, расход энергии, шаров и футеровки. Кроме того, из-за проявления двух разделительных признаков [6], по крупности и плотности, в песках происходит накопление промежуточного магнетитового концентрата – циркуляционная концентрация, что подтверждается превышением содержания железа общего в песках против его содержания в сливе: на первой стадии – 41,00% против 32,60%, на второй стадии – 60,43% против 50,20%, а на третьей – 65,49% против 61,2% (по данным опробования ЦГОКа), при этом отношение содержания железа в песках и сливе постадиально составляет соответственно 1,25–1,20–1,07 при стадийной эффективности классификации 47,5–44,7–55,02% и циркуляционной нагрузке 127–256–97%. Характерно, что доводка магнетитового концентрата в условиях ЦГОКа на технологической секции № 18 в гидроциклонах малого диаметра 350 мм при эффективности классификации 46,41% и циркуляционной нагрузке 95% привела к реверсу циркуляционной концентрации: содержание железа в песках стало меньше, чем в сливе гидроциклонов. При тонкой классификации на грохотах Derrick в подрешетном продукте – 0,074 мм содержание железа общего 70%, а в надрешетном продукте – 63,47% и питании – 68,24%. Извлечение железа общего в подрешетный продукт составляет 74,93%, а выход этого продукта – 73,05%. Если этот процесс оценивать эффективностью

классификации по формуле 1, то она достаточно высокая – 62,92%, а если исходить из оценки этого передела как гравитационного процесса, то его эффективность (формуле 2) довольно низкая – 5,93%. В гидроциклонах малого диаметра 350 мм эта эффективность выше и составляет 6,30%.

2. Эффективность и селективность магнитной сепарации и дешиламации

Эффективность предыдущей технологической операции предопределяет эффективность последующего процесса мокрой магнитной сепарации. Переизмельчение раскрытых зерен магнетита и богатых сростков, как следствие низкой эффективности классификации, приводит к уменьшению удельной магнитной восприимчивости тонких частиц и увеличению их магнитной жесткости, особенно это заметно при крупности менее 30 мкм. Магнитные флоккулы захватывают частицы кремния и силикатов, что ухудшает качество магнитных продуктов на заключительных операциях ММС (рис. 1).

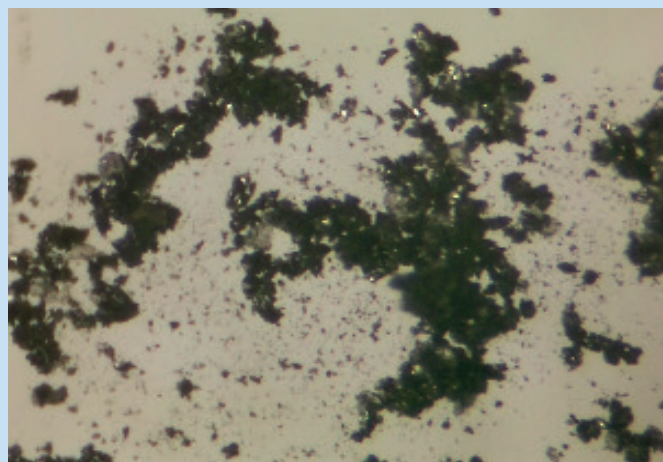


Рис. 1. Магнитные флоккулы класса 0,03–0,045 мм (слив гидроциклонов III стадии).

Сурет 1. 0,03–0,045 мм класты магнитті флоккулар (III кезеңдегі гидроциклондардың төгіндісі).

Figure 1. Magnetic flocs of 0.03–0.045 mm class (overflow from the hydrocyclones of the III stage).

Результаты мокрой магнитной сепарации представлены в таблице 2. Эффективность магнитной сепарации вычислялась по формуле 2.

Таблица 1

Результаты классификации

Кесме 1

Классификация нәтижелері

Table 1

Classification results

Стадия классификации	Эффективность разделения по граничному зерну – 56 мкм, %				
	СевГОК: секции РОФ – I		Ингулецкий ГОК: секции		ЦГОК
	№ 3–4	№ 24	№ 6 РОФ 1	№ 20 РОФ 2	
Первая стадия	50,84	51,08	42,50	32,02	47,50
Вторая стадия	45,65	49,63	52,97	37,99	44,70
Третья стадия	53,23	43,65	38,45		55,02

Таблица 2

Результаты мокрой магнитной сепарации

Кесме 2

Дымқыл магниттік сепарация нәтижелері

Table 2

Results of wet magnetic separation

Стадия магнитной сепарации	Эффективность магнитной сепарации, %				
	СевГОК: секции		Ингулецкий ГОК: секции		ЦГОК
	№ 3–4	№ 24	№ 6 РОФ 1	№ 20 РОФ 2	секция № 8–9
Первая стадия	51,84	51,97	43,30	36,88	49,66
Вторая стадия	14,32	10,77	15,22	16,23	8,77
Третья стадия	17,53	21,11	21,45	27,63	37,48
Четвертая стадия	14,16	15,02	9,98		26,08
Пятая стадия			16,56		

Данные таблицы 2 свидетельствуют о низкой эффективности мокрой магнитной сепарации, особенно на заключительных переделах ММС, когда требуется значительная степень концентрации для получения высококачественного магнитного продукта. Так, на четвертой стадии ММС эффективность разделения не превышает 26,08 % в условиях секции № 8–9 ЦГОКа, в то время как на СевГОКе она составляет 14–15%, а на секции № 6 РОФ – 1 ИнГОКа находится на минимальном уровне – 9,98%. Максимальная эффективность ММС достигается на первой стадии ММС, но не более 52%, а минимальная на второй стадии, на уровне 8,77%. Степень концентрации на железорудных предприятиях обычно исчисляется по приросту железа общего в концентрате ММС и составляет для первой стадии в два приема ММС – 12,7 ... 15,8%, для третьей стадии в два приема – 1,65 ... 5,43%, а для ММС – IV на уровне 0,9 ... 2,45%. После второго приема ММС – IV получаем

магнитный продукт, который в диапазоне крупности -56 + 30 мкм представляет собой высококачественный концентрат с содержанием железа общего более 70% (таблица 3).

Проблема состоит в том, как выделить продуктивную фракцию, верхний предел крупности которой равен 56 мкм, а нижний – 30 мкм? На ЦГОКе пошли по пути классификации по граничному зерну, соответствующему заданному диапазону крупности, используя для этого вибрационные грохоты Derrick и ГЦУ.

Магнитное обесшламливание по своей технологической значимости не уступает ММС. В условиях ЦГОКа магнитное обесшламливание выполнено на каждой стадии в два приема, при этом прирост железа общего на дешламации – I составляет 5,57% при эффективности магнитного разделения 31,64%, а прирост железа общего на дешламации – II составляет 4,00% при эффективности магнитного разделения – 37,29%.

Таблица 3

Магнитный продукт ММС – IV – II

Кесме 3

ММС – IV – II магниттік өнімі

Table 3

Magnetic Product of WMS – IV – II

Класс крупности, мм	Выход, %	Масс. доля Fe общ	Степень раскрытия рудных минералов, %	Сростки с содержанием магнетита						Сумма раскрытых зерен
				Рудные 95-100	Богатые 75-95	Средние 25-75	Бедные 5-25	Нерудные 0-5	Сумма	
-0,315 + 0,16	0,59	17,4	15,68	10,13	1,7	19,5	14,2	54,47	100	64,6
-0,16+0,071	4,89	19,3	14,41	8,3	5,6	18	18,8	49,3	100	57,6
-0,071+0,056	1,96	43,7	69,52	49,36	5,3	10,7	13	21,64	100	71
-0,056 + 0,045	11,15	69,7	99,65	89,19	2,9	3,1	4,5	0,31	100	89,5
-0,045+0,03	77,69	71,4	99,89	96,49	1	0,9	1,5	0,11	100	96,6
-0,03+0,02	1,24	16,4	14,81	9,72	1,5	17,8	15,1	55,88	100	65,6
-0,02+0,01	1,24	18,2	15,61	10,63	5,8	15,6	10,5	57,47	100	68,1
-0,01+0	1,24	4,3	1,1	0,92	0,8	6,3	6,6	85,38	100	86,3
Итого	100	65,63	93,78	86,6	1,59	2,75	3,32	5,74	100	92,34

Коэффициент селективности магнитного обогащения определяется как отношение магнитной восприимчивости разделяемых частиц: более магнитных χ_a и менее магнитных χ_b [4]. Так как удельная магнитная восприимчивость не зависит от напряженности поля и формы зерен, то среднее значение χ_{cp} вычислялось как средневзвешенная величина с учетом содержания сростков в данном продукте. Данные расчета приведены в таблице 4.

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что успешное разделение имеет место в случае рудных и бедных зерен, для которых соотношение χ_a/χ_b на уровне 16, а также рудных и нерудных зерен, для которых коэффициент селективности равен 400. Что касается богатых и средних сростков, то для них коэффициент селективности менее 3. Средний коэффициент селективности составляет 2,62. Практика магнитного обогащения на современных магнитных сепараторах показывает, что коэффициент селективности должен быть не менее 3. Наиболее высокое качество имеет класс 0,03–0,045 мм, содержание железа общего в котором достигает 68,40%, степень раскрытия рудных зерен которого – 83,50%, при этом содержание богатых, средних, бедных, нерудных сростков в нем составляет соответственно 8,9%, 7,7%, 8,4 % и 3,7%. Средняя удельная магнитная восприимчивость для этого класса по расчету $\chi_{cp} = 2,276 \cdot 10^{-4}$ м³/кг, а средний коэффициент селективности несколько выше и составляет 2,19. При прочих равных условиях, чем больше удельная магнитная восприимчивость, тем с большей силой магнитное поле воздействует на минеральное зерно и наоборот. Как следствие, чем меньше значение коэффициента селективности, тем труднее улучшить качество продукта за счет магнитной сепарации. В магнитном поле рабочего сепаратора неоднородном как по напряженности, так и величине магнитной силы при незначительном различии удельной магнитной восприимчивости χ_a и χ_b разделяемых частиц может оказаться, что магнитная сила F_{m1} более магнитного зерна, удаленного от полюса, окажется меньше магнитной силы F_{m2} менее магнитного зерна, находящегося у полюса, результатом чего есть ухудшение качества продуктов разделения из-за их взаимного засорения.

3. Эффективность и селективность флотации магнетитовых концентратов

Баланс продуктов флотационного обогащения по четырем флотационным машинам приведен в таблице 5. Расчет эффективности флотационного обогащения произведен по формуле 3.

Из таблицы 5 видно, что первые две флотомашин работают малоэффективно и требуют наладки реагентного режима, в то время как третья и, особенно четвертая флотомашин показывают эффективность, которая не уступает магнитной сепарации и магнитной дешламации.

Для повышения качества продуктов флотации необходимо повысить селективность извлечения, для чего рассчитаем коэффициент селективности по формулам 4.1 и 4.2. Результаты расчета коэффициента селективности сведены в таблицу 6. Флотомашин обеспечивают относительно высокое извлечение магнетита в камерный продукт: 82% в камере ФМ – 3 и 86,85% – в камере ФМ – 4, что лучше по сравнению с работой машин ФМ – 1 и ФМ – 2, но в последнем случае меньше засорение кремнеземом, что является важным показателем при доводке магнетитовых концентратов до получения высококачественного концентрата для процесса прямого восстановления железа (DRI) с содержанием кремнезема (SiO_2) менее 3%.

Данные таблицы 6 свидетельствуют о низкой селективности обратной флотации магнетитовой руды. Для получения высококачественного флотационного концентрата не только по содержанию железа общего, но и по содержанию кремнезема и силикатов необходимо повысить коэффициент селективности на порядок.

Реализация технологических инноваций требует применения современного оборудования, которое обеспечивает повышение производительности, эффективности и селективности сепарационных процессов. При рудоподготовке целесообразно применять роллер-прессы [5], на стадии обогащения перспективны гидроциклоны последнего поколения типа 350CVX, струйные флотомашин типа IMHOFFLOTCELL, трехпродуктовые магнитные сепарационные комплексы, винтовые сепараторы, а сту-

Таблица 4

Результаты расчета коэффициента селективности MMC – I

Кесте 4

MMC – I селективтілік коэффициентінің есептеу нәтижелері

Table 4

Calculation results of the selectivity coefficient for WMS – I

Тип сростков	рудные	богатые	средние	бедные	нерудные
Содержание магнетита, %	100	95	75	25	5
Выход по массе, %	42,60	7,00	24,80	14,40	11,10
Удельная магнитная восприимчивость, м ³ /кг	$4,98 \cdot 10^{-4}$	$4,49 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,11 \cdot 10^{-5}$	$1,24 \cdot 10^{-6}$
Средняя удельная магнитная восприимчивость, χ_{cp} , м ³ /кг	$1,8992 \cdot 10^{-4}$				
Коэффициент селективности		1,11	1,78	16	400
Средний коэффициент селективности	2,62				

Баланс продуктов флотационного обогащения железной руды

Таблица 5

Темір кенін флотациялық байытудың өнімдерінің балансы

Кесте 5

Balance of products of iron ore flotation beneficiation

Table 5

Продукты флотации	Показатели флотации			
	Выход, %	Fe – содержание, %	Извлечение, %	Эффективность, %
Флотационная машина № 1				
Исходный продукт флотации	100,00	53,10	100,00	
Флотационный концентрат	60,27	66,50	75,50	19,19
Флотационные хвосты	39,73	32,80	24,50	
Флотационная машина № 2				
Исходный продукт флотации	100,00	53,10	100,00	
Флотационный концентрат	60,37	66,30	75,40	19,40
Флотационные хвосты	39,63	33,00	24,60	
Флотационная машина № 3				
Исходный продукт флотации	100,00	60,10	100,00	
Флотационный концентрат	76,49	66,20	84,30	45,36
Флотационные хвосты	23,51	40,20	15,70	
Флотационная машина № 4				
Исходный продукт флотации	100,00	60,10	100,00	
Флотационный концентрат	80,47	66,60	89,20	56,64
Флотационные хвосты	19,53	33,30	10,80	

Результаты расчета селективности флотации железной руды

Таблица 6

Темір кенін флотациялау селективтілігі коэффициентінің есептеу нәтижелері

Кесте 6

Calculation results of the selectivity coefficient for iron ore flotation

Table 6

Номер флотомашин	Извлечение в камерный продукт E, %		Коэффициент селективности K _s	
	магнетита E ₁	кварца E ₂	по Митрофанову	по Годену
Флотационная машина № 1	69,32	29,54	2,32	3,38
Флотационная машина № 2	72,51	23,59	2,92	4,80
Флотационная машина № 3	82,00	47,03	2,27	2,70
Флотационная машина № 4	86,85	46,76	2,74	3,22

щение хвостовой пульпы предпочтительнее проводить в высокоскоростных сгустителях с промежуточными зумпфами.

4. Общая эффективность технологии обогащения

Совершенство применяемой технологии обогащения определяется общей эффективностью сепарационных процессов, при этом эффективность предыдущей технологической операции предопределяет эффективность последующего технологического процесса. Общая эффективность (η_o) применяемой технологии обогащения на ИнГОКе определяется по формуле

$$\eta_o = [\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3] \cdot 100, \%, \quad (5)$$

где η_1 – эффективность классификации, д.е.;

η_2 – эффективность магнитной сепарации, д.е.;

η_3 – эффективность флотации, д.е.

Подставляя достигнутые значения на каждом технологическом переделе, получаем значение общей эффективности технологии в целом. Принимая максимально достигнутые частные значения эффективности классификации, ММС и флотации соответственно $\eta_1 = 0,55$ д.е.; $\eta_2 = 0,4333$ д.е.; $\eta_3 = 0,5664$ д.е., получаем максимально достигнутый уровень эффективности применяемой технологии, который в конкретном случае равен 13,50%.

Для повышения общего показателя эффективности обогащения необходимо создать условия для максимального

проявления каждого сепарационного процесса в отдельности, при этом предпочтительнее «короткие» технологические цепи, так как увеличение количества одноименных разделительных переделов, например, ММС, влечет за собой увеличение потерь из-за переходных режимов на стыке двух процессов и/или действия нескольких разделительных признаков в рамках одного сепарационного процесса [6]. Целесообразно применять разноименные технологические процессы в определенной последовательности: классификация по крупности, разделение по плотности одинаковых или близких по крупности минеральных частиц, разделение по магнитной восприимчивости одинаковых или близких по плотности фракций, разделение по смачиваемости технологически «изомерных» продуктов.

Особую значимость приобретают вспомогательные процессы. Измельчение не относится к сепарационным процессам, но эффективность магнитной сепарации, гравитации и флотации во многом зависит от степени раскрытия минеральных зерен и их переизмельчения, уровня ошламования системы, селективности этого технологического передела. Другой пример – это использование механической активации, которая является подготовительной операцией, но ее действие значительно повышает реакционную способность минеральной поверхности. Предварительное размагничивание продуктов ММС улучшает процесс классификации частиц за счет разрушения магнитных флюкул.

Правильная организация водно-шламового хозяйства обеспечивает необходимое качество разделительной среды, регенерация которой играет ключевую роль для реализации сепарационных процессов, так как реологические свойства, содержание твердого и шламов, флокулянтов и реагентов в пульпе являются регуляторами технологических процессов.

5. Энергоэффективность технологии обогащения

Энергоэффективность складывается из энергоэффективности рудоподготовки, собственно обогащения и вспомогательных процессов (сгущение, фильтрование). На стадии рудоподготовки перспективным является максимально возможное снижение крупности дробленого продукта перед измельчением с переводом рудного тела в метастабильное состояние с образованием микротрещин, что облегчает его разрушение в шаровых мельницах и сокращает энергозатраты. Другое направление повышения энергоэффективности – сгущение хвостов обогащения до содержания твердого 50%.

Энергоэффективность технологического процесса и технологии в целом уместно рассчитать при внедрении инновационного оборудования. Так применение на стадии рудоподготовки современного оборудования, а именно, дробилок крупного дробления, вибрационных грохотов предварительного грохочения позволяет получить удель-

ный расход электроэнергии токоприемников дробильного отделения железорудного ГОКа по новой технологии на 1 т перерабатываемой руды 1,42 кВт·час/т, а на 1 т товарного концентрата – 3,12 кВт·час/т. Внедрение роллер-прессов, вертикальных бисерных мельниц на стадии ультратонкого измельчения, автоматизированных гидроциклонных установок изменяет традиционную схему обогащения магнетитовой железной руды, что обеспечивает повышение энергоэффективности технологии в целом: установленная мощность оборудования по новой технологии по сравнению с действующим производством сокращается по первой очереди для условий СевГОКа на 12,62 мВт, по второй очереди 20,84 мВт и по дробильному переделу на 5,06 мВт. Итого снижение установленной мощности после перехода на новую технологию составляет 29%. Потребляемая мощность после перехода на новую технологию сокращается. Удельный расход электроэнергии после внедрения инновационного оборудования снижается и составляет 13,37 кВт·час/т рядовой руды, а на 1 т концентрата 31,79 кВт·час/т концентрата.

Реализация проекта сгущения хвостовой пульпы на ЮГОКЕ позволила организовать внутрифабричный водооборот, при котором в 10 раз сокращается объем шламов, складываемых в хвостохранилище, а энергоэффективность этого технологического процесса оценивается по снижению потребления электроэнергии, которое уменьшилось на 40% [7].

Выводы

1. Технологическое совершенство применяемой технологии обогащения железной руды определяется эффективностью и селективностью отдельных процессов: классификации, мокрой магнитной сепарации, магнитной дешламации и флотации, сгущения.

2. Эффективность классификации колеблется в пределах 38 ... 55%, магнитной сепарации – 9 ... 52%, магнитной дешламации – 32 ... 37%. Селективность процесса ММС находится на уровне 2,62, а обратной флотации – 2,27 ... 4,80.

3. Эффективность технологического процесса зависит в значительной степени от подготовительных операций: измельчения, механической активации, размагничивания магнитных продуктов ММС.

4. Повышение технологической эффективности применяемых процессов сокращает энергоемкость производства и увеличивает энергоэффективность технологии обогащения в целом.

5. Существующий уровень эффективности и селективности сепарационных процессов недостаточно высокий для улучшения качественно-количественных показателей и требует внедрения технологических инноваций в традиционных схемах обогащения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фоури П. Моделирование схем разделения с использованием численного анализа // 6-я Международная конференция по тяжелым минералам, 2007. С. 75–82 (на английском языке)
2. Гаудин А. Принципы обогащения полезных ископаемых: McGraw – Hill, 1939. 554 с. (на английском языке)

3. Митрофанов С.И. Селективная флотация: М.: Недра, 1967. С. 156–158 (на русском языке)
4. Кармазин В.И. Обогащение руд черных металлов: М.: Недра, 1982. 215 с. (на русском языке)
5. Шонерт К. Обзор измельчения с использованием валковых мельниц высокого давления // Международный журнал переработки полезных ископаемых. 1988. № 22. С. 401–412 (на английском языке)
6. Пилов П.И., Кирнарский А.С. Технологическая однопараметричность как инструмент повышения селективности сепарационных процессов // Обогащение руд. 2020. № 2. С. 38–43 (на русском языке)
7. Доберсек А., Кирнарский А., Райш А. Сгущение хвостовой пульпы на Южном горно-обогатительном комбинате // Горный журнал Казахстана. 2023. № 4. С. 42–47 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фоури П. Сандық талдауды қолдана отырып, бөлу схемаларын модельдеу // Ауыр минералдар бойынша 6-шы халықаралық конференция, 2007. Б. 75–82 (ағылшын тілінде)
2. Гаудин А. Пайдалы қазбаларды байыту принциптері: McGraw-Hill, 1939. 554 б. (ағылшын тілінде)
3. Митрофанов С.И. Селективті флотация: М.: Жер қойнауы, 1967. Б. 156–158 (орыс тілінде)
4. Кармазин В.И. Қара металл кендерін байыту: М.: Жер Қойнауы, 1982. 215 б. (орыс тілінде)
5. Шонерт К. Жоғары қысымды роликті диірмендерді қолдана отырып ұнтақтауға шолу // Халықаралық пайдалы қазбаларды өңдеу журналы. 1988. № 22. Б. 401–412 (ағылшын тілінде)
6. Пилов П.И., Кирнарский А.С. Технологиялық бір параметрлілік бөлу процестерінің селективтілігін арттыру құралы ретінде // Кендерді байыту. 2020. № 2. Б. 38–43 (орыс тілінде)
7. Доберсек А., Кирнарский А., Райш А. Оңтүстік тау-кен байыту комбинатында құйрық целлюлозасын қоюлату // Қазақстанның кен журналы. 2023. № 4. Б. 42–47 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Fourie P.J. Modelling of separation circuits using numerical analysis // The 6th International Heavy Minerals Conference, 2007. P. 75–82 (in English)
2. Gaudin A.M. Principles of Mineral Dressing: McGraw – Hill Book Company, 1939. 554 p. (in English)
3. Mitrofanov S.I. Selektivnaya flotatsiya [Selective Flotation]: Moscow: Nedra, 1967. 156–158 pp. (in Russian)
4. Karmazin V.I. Obogashchenie rud chernykh metallov [Beneficiation of Ferrous Metal Ores]: Moscow: Nedra, 1982. 215 pp. (in Russian)
5. Schönert K. A survey of grinding with high – compression roller mills // International Journal Mineral Processing. 1988. No. 22. 401–412 pp. (in English)
6. Pilov P.I., Kirnarsky A.S. Tekhnologicheskaya odnoparametrichnost' kak instrument povysheniya selektivnosti separatsionnykh protsessov [Technological Uniparametricity as a Tool for Increasing the Selectivity of Separation Processes], Obogashchenie rud [Mineral Processing]. 2020. No. 2. 38–43 pp. (in Russian)
7. Dobersek A., Kirnarsky A., Raish A. Sgushchenie khvostovoi pul'py na Yuzhnom gorno-obogatitel'nom kombinatе [Thickening of Tailings Slurry at the Southern Mining and Processing Plant], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2023. No. 4. 42–47 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Доберсек А., к.т.н., Президент компании «ENGINEERING DOBERSEK GmbH», Компания «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, ФРГ)

Кирнарский А.С., д.т.н., Научный руководитель проектов по обогащению полезных ископаемых, Компания «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, ФРГ), anatoliy.kirnarsky@ed-mg.de

Авторлар туралы мәліметтер:

Доберсек А., Ph.D, ENGINEERING DOBERSEK GmbH, ENGINEERING DOBERSEK GmbH президенті (Менхенгладбах қ., Германия)

Кирнарский А.С., т.ғ.д., ENGINEERING DOBERSEK GmbH, Минералды қайта өңдеу жобаларының ғылыми жетекшісі (Менхенгладбах қ., Германия)

Information about the authors:

Dobersek A., Ph.D, President of ENGINEERING DOBERSEK GmbH, ENGINEERING DOBERSEK GmbH (Mönchengladbach, Germany)

Kirnarsky A.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Director of Mineral Processing Projects, ENGINEERING DOBERSEK GmbH (Mönchengladbach, Germany)

*30 лет развития
инноваций
и технологий!*

2025

miningmetals 30 YEARS OF SUCCESS CENTRAL ASIA

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

17 • 19 сентября
АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН

Организаторы



+7 727 258 34 34



mining-metals.kz



mining_shows_kaz



miningmetals.kz



Код МРНТИ 53.37.35

*Т.Ш. Тусупбекова¹, Б.С. Баимбетов¹, Л.М. Каримова², С.В. Мамяченков³¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан),³ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

(г. Екатеринбург, Россия)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД И КОНЦЕНТРАТОВ

Аннотация. Целью данного обзора является анализ и структурирование существующих методов переработки молибденосодержащих руд, выявление их достоинств и недостатков. Проведена оценка современного состояния переработки молибденосодержащих руд в Казахстане и его место в мировом рынке. В настоящее время молибденовые руды разрабатываются только в ТОО «KAZ Minerals Bozshakol». Отмечено, что основными производителями молибдена являются Китай, США, Чили, Перу, Канада и Мексика, на долю которых приходится более 90% мирового производства. Проанализированы способы переработки молибденовых руд и концентратов. Рассмотрены основные методы переработки – пирометаллургия (окислительный обжиг) и гидрометаллургия. Одним из вариантов переработки молибденосодержащих продуктов может быть обжиг промпродукта с предварительной подшихтовкой карбоната натрия и последующая гидрометаллургическая переработка.

Ключевые слова: молибденовый промпродукт, обжиг, выщелачивание, извлечение, раствор.

Молибден кендері мен концентраттарын өңдеу тәсілдерін талдау

Аңдатпа. Бұл шолудың мақсаты құрамында молибден бар кендерді өңдеудің қолданыстағы әдістерін талдау және құрылымдау, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау. Қазақстанда құрамында молибден бар кендерді өңдеудің қазіргі жай-күйіне және оның әлемдік нарықтағы орнына бағалау жүргізілді. Қазіргі уақытта құрамында молибдені бар кендерін тек «KAZ Minerals Bozshakol» ЖШС-де өңдеуде. Құрамында молибден бар кендердің негізгі өндірушілері Қытай, АҚШ, Чили, Перу, Канада және Мексика, олар әлемдік өндірістің 90%-дан астамын құрайды. Молибден кендері мен концентраттарын өңдеу әдістері талданды. Өңдеудің негізгі әдістері – пирометаллургия (тотығу күйдіру) және гидрометаллургия қарастырылды. Құрамында молибден бар өнімдерді қайта өңдеудің бір нұсқасы: натрий карбонатын қосып, алдын-ала күйдіру және алынған ерітіндіні гидрометаллургиялық тәсілмен өңдеу.

Түйінді сөздер: молибден өнеркәсібі өнімі, күйдіру, шаймалау, экстракция, ерітінді.

Analysis of methods of processing molybdenum ores and concentrates

Abstract. The purpose of this review is to analyses and structure the existing methods of processing molybdenum-containing ores, identifying their advantages and disadvantages. The current state of processing of molybdenum-containing ores in Kazakhstan and its place in the world market has been assessed. Currently, molybdenum ores are developed only in LLP «KAZ Minerals Bozshakol». It is noted that the main producers of molybdenum are China, USA, Chile, Peru, Canada and Mexico, which account for more than 90% of world production. Methods of processing of molybdenum ores and concentrates are analyzed. The main processing methods considered are pyrometallurgy (oxidative roasting) and hydrometallurgy. One of the variants of processing of molybdenum-containing products can be roasting of industrial products with preliminary charging of sodium carbonate and subsequent hydrometallurgical processing.

Key words: molybdenum industrial product, roasting, leaching, extraction, solution.

Введение

Область применения молибдена достаточно обширна, более 80% используется в черной металлургии для легирования сталей. Из таких сталей возможно получение нержавеющей сталей, суперсплавов, а также молибден используется при изготовлении оборудования для обрабатывающей промышленности, таких как прокатные станы и т. д. Около 10% чистого металлического молибдена используется в химической промышленности, 6% используется для получения черноволетного металлического молибдена и 4% в других отраслях [1].

Лидирующую позицию по добыче и производству молибдена занимает Китай, США, Чили, Перу, Канада и Мексика, на долю которых приходится более 90% мирового производства. Данные о запасах и объемах его производства в ведущих странах представлены в таблице 1.

Казахстан входит в число мировых лидеров по объему разведанных запасов молибдена. На территории страны обнаружено порядка 20 месторождений, где молибден встречается в сочетании с другими металлами, такими как вольфрам, медь и уран.

Таблица 1

Запасы молибдена и его объемы производства

Кесте 1

Молибден қорлары және оның өндіріс көлемі

Table 1

Molybdenum reserves and production volumes

Страна	Запасы, категория	Запасы, тыс. т	Производство, тыс. т	Доля в мировом производстве, %
КНР	Подтвержденные запасы	8325	83,6	38
Чили	Подтвержденные + вероятные запасы	3445	52	24
США	Подтвержденные + вероятные запасы	3419	31,6	14
Перу	Подтвержденные + вероятные запасы	2670	20	9

Исторически в Казахстане основными продуктами переработки молибденовых руд были концентраты молибдена, промпродукты и различные соли на его основе. При этом производство металлического молибдена осуществлялось в СССР на Заводе тугоплавких и жаропрочных металлов, расположенном в городе Чирчик (Узбекистан). На этот завод поставлялись молибденовые продукты, полученные на горно-металлургических предприятиях по всему Союзу [2].

В настоящее время в Казахстане установленные запасы молибдена определяются в объеме 1,1 млн т. и занимают 4-е место в мире и первое среди стран Азии. Основные месторождения – Коктенколь Южный, Шалгия, Жанет, Батыстау, Верхнее Кайракты, Караоба, Северный Катпар, Акшатау и др. Комплексные медно-молибденовые месторождения – Актогай, Айдарлы, Бозшаколь, Каратас IV, Коксай, Коунрад, Борлы, Саяк, Шатырколь, Жайсан, Шорское. Также в Казахстане встречаются молибден-уран-ванадиевые месторождения – Каратау и Таласа. Большинство этих месторождений на данный момент не эксплуатируются ввиду низкой обогатимости и сложностью получения кондиционных товарных концентратов или руды перерабатываются с получением в основном меди или вольфрама. В настоящее время молибденовые руды разрабатываются только в ТОО «KAZ Minerals Bozshakol». Получаемый концентрат молибдена отгружается на экспорт [3]. В связи этим требуется разработка альтернативных и экономически эффективных методов переработки, способных обеспечить полное использование сырья, в том числе некондиционного.

Цель данного обзора – анализ и структурирование существующих методов переработки молибденосодержащих руд, выявление их достоинств и недостатков.

Получение молибденового промпродукта или концентрата

Переработка молибденовых руд осуществляется с применением различных схем, зависящих от необходимости извлечения попутных полезных компонентов. На выбор оптимальной схемы переработки также влияет вкрапленность минералов и наличие вредных примесей. Особенное влияние на дальнейшую переработку молибденосодержащей продукции оказывает наличие таких примесей как фосфор, мышьяк, олово, графит и тальк [3].

Сульфидные молибденовые руды перерабатываются флотационным методом обогащения. После получения коллективного концентрата, этот концентрат подвергают селекции с многократными перечистными операциями и доизмельчению. В ряде случаев при наличии в руде сопутствующих полезных компонентов перерабатывают промпродукты перечистных операций. Реагентный режим в данном случае простой ввиду высокой флотационной активности сульфидных молибденовых руд [3].

При флотации медно-молибденовых руд основным продуктом процесса является коллективный концентрат, содержащий как медь, так и молибден. Далее полученный коллективный концентрат подвергается селекции с применением сернистого натрия и температурной паровой обработки, флотация ведется в замкнутом контуре для исклю-

чения выделения различных вредных газов. В некоторых случаях получение кондиционного товарного молибденового концентрата невозможно, в этом случае молибденовые промпродукты перерабатываются гидрометаллургическим способом.

Переработка вольфрам-молибденовых руд осуществляется с применением гравитационно-флотационных или флотационных методов обогащения, в зависимости от требуемых задач и фазового состояния полезных компонентов руды.

Переработка молибден-ураниловых руд в основном осуществляется гидрометаллургическими методами.

Таким образом, вне зависимости от исходного молибденосодержащего сырья получают молибденовые концентраты, которые, в зависимости от состава, перерабатываются различными методами. Основная доля переработки направлена на получение триоксида молибдена, который является сырьем для производства непосредственно металлического молибдена и карбида молибдена [4].

Способы переработки молибденитовых концентратов

Концентраты и промпродукты молибденита служат основным сырьем для производства ферромолибдена и разнообразных химических соединений. К числу наиболее значимых продуктов относятся трехокись молибдена, парамолибдат аммония, молибдат натрия и молибдат кальция.

Основным способом переработки молибденового сырья является окислительный обжиг. В процессе обжига сульфиды молибдена разлагаются, образуя технический оксид молибдена (огарок). Этот промежуточный продукт далее используется в химической промышленности для синтеза молибденовых солей или в металлургии для получения ферромолибдена и триоксида молибдена [5].

Еще одним методом переработки молибденовых продуктов является аммиачно-сульфатное выщелачивание, которое проводится после предварительного окислительного обжига. Данный метод основан на способности триоксида молибдена растворяться в аммиачных растворах. Эффективность извлечения молибдена в раствор может достигать 95%, однако наличие примесей и непрореагировавших компонентов в огарке снижает этот показатель. Для повышения степени извлечения применяются дополнительные операции, такие как промывка (для предотвращения перехода примесей в раствор) и обработка кеков выщелачивания (для доизвлечения молибдена). В последнее время для интенсификации процесса и обеспечения его непрерывности перспективным стало использование выщелачивания в кипящем слое. Полученные концентрированные растворы далее направляются на очистку и выделение целевых продуктов, таких как пара- или тетрамолибдат аммония, молибденовая кислота или молибдат кальция. На рис. 1 и 2 представлены основные способы переработки молибденового концентрата [6–9].

Одним из методов переработки некондиционных молибденовых концентратов и промпродуктов является также выщелачивание огарков окислительного обжига растворами карбоната натрия. После кек направляется на водное выщелачивание, далее полученный раствор направ-

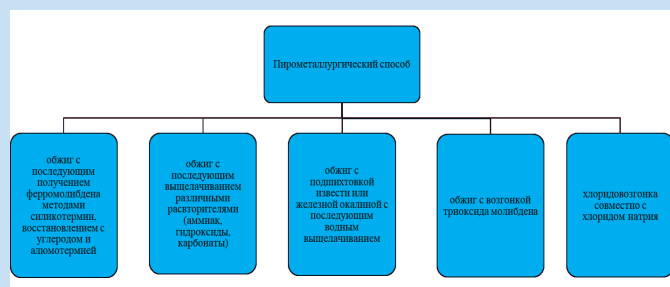


Рис. 1. Варианты переработки молибденового концентрата пирометаллургическим способом.

Сурет 1. Молибден концентратын

пирометаллургиялық тәсілмен өңдеу тәсілі.

Figure 1. Method of molybdenum concentrate processing by pyrometallurgical method.

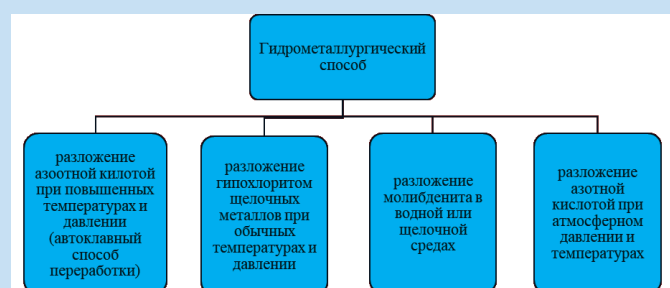


Рис. 2. Варианты переработки молибденового концентрата гидрометаллургическим способом.

Сурет 2. Молибден концентратын

гидрометаллургиялық тәсілмен өңдеу тәсілі.

Figure 2. Method of molybdenum concentrate processing by hydrometallurgical method.

ляется на осаждение хлористым кальцием для получения молибдата кальция [10].

Немаловажным также является извлечение сопутствующих ценных компонентов, таких как рений, медь и т. д. Поэтому при наличии в сырье дополнительных полезных компонентов и для их комплексного и более полного извлечения применяется автоклавное выщелачивание огарков окислительного обжига аммиачно-сульфатными растворами. Данная технология позволяет извлекать также имеющуюся в составе медь и другие ценные компоненты в виде предварительного получения различных осадков в первой стадии за счет пропускания сернистых газов окислительного обжига через растворы выщелачивания, снижая тем самым потери ценных компонентов с газовой фазой.

Одним из альтернативных методов является автоклавное или прямое выщелачивание молибденсодержащих продуктов азотной, серной кислотами или их смесями. Например, для получения парамolibдата аммония известен метод автоклавного окислительного разложения молибденового продукта с последующим поэтапным выщелачиванием молибдена. Впоследствии возможно полученный продукт направлять на получение триоксида молибдена. В целом применение автоклавного кислотного разложения молибденсодержащих продуктов затруднено сложностью

аппаратурного оформления процесса, невозможностью получения отвальных кеков в одну стадию и необходимостью утилизации продуктов выщелачивания.

Существуют также различные нестандартные методы извлечения молибденовых промпродуктов и концентратов, таких как применение различных окислителей (кислород, перманганат калия, гипохлорит калия, хлораты калия или натрия и т. д.), применение электрохимического выщелачивания, биогидрометаллургия и др., однако применение этих методов усложняется низкой скоростью протекания процесса и значительным усложнением технологической схемы переработки [11–12].

В целом большинство вышеперечисленных методов имеет ряд недостатков, таких как значительные потери ценных компонентов с газовой фазой при окислительном обжиге, потери металла с кеками выщелачивания, что обуславливает необходимость доизвлечения молибдена, высокая энергоёмкость процессов и наличие вредных выбросов в атмосферу.

По сравнению с аммиачно-сульфатным или кислотным выщелачиванием, обжиг с содой обладает следующими отличительными особенностями:

- *Извлекаемость и чистота продукта.* Лабораторные исследования, проведенные на медно-молибденовой руде Шатыркуль-Жайсанского кластера, показали извлекаемость молибдена до 97,73% при использовании схемы обжига с содой, что сопоставимо с показателями альтернативных методов при оптимизации параметров.

- *Экологическая составляющая.* Преобразование SO_2 в сульфат натрия снижает выбросы вредных газов, что является существенным преимуществом перед методами, где сернистый газ теряется в атмосферу. Однако для практической реализации требуется комплексная система улавливания и нейтрализации газов.

- *Энергоэффективность.* Использование обжига с содой позволяет работать при умеренных температурных режимах по сравнению с методами, требующими более высоких температур, что потенциально снижает энергозатраты. Тем не менее, интеграция данного этапа в общую технологическую цепочку требует оптимизации теплообмена и равномерного распределения температуры в реакционной зоне.

Перспективы развития и направления дальнейших исследований. Ключевые направления для совершенствования технологии обжига с содой и выщелачивания включают:

- *Оптимизация технологических параметров.* Проведение комплексного экспериментального и моделирующего исследования для определения оптимальных соотношений реагентов, температурных режимов и времени реакции с целью максимизации извлекаемости и минимизации образования побочных продуктов.

- *Разработка интегрированных систем улавливания и очистки газов.* Внедрение современных методов газоочистки (например, использование адсорбционных и каталитических установок) для обеспечения экологической безопасности процесса.

- *Микро- и нанотехнологический контроль.* Применение современных аналитических и диагностических методов (мониторинг, спектроскопия) для точного контроля

химического состава обожженной массы и оперативного регулирования технологических параметров.

• *Экономическая оценка и масштабирование.* Проведение детального экономического анализа и пилотных испытаний для определения перспектив коммерциализации технологии, особенно в условиях переработки некондиционного сырья и отходов.

Заключение

Рассматривая все вышеперечисленные методы, следует отметить, что они направлены на переработку кондиционных молибденовых концентратов или молибденсодержащих промпродуктов, однако учитывая постоянное истощение природных ресурсов, возникает необходимость в вовлечении в переработку различного некондиционного сырья и отходов, а также разработке эффективных технологий их переработки. Разработка рационального способа извлечения молибдена из бедного сырья позволила бы существенно расширить сырьевую базу, увеличить извлечение молибдена в конечные продукты, сократив тем самым его потери.

Одним из перспективных методов переработки молибденсодержащих продуктов является обжиг промпродукта с предварительной добавкой карбоната натрия и последующая гидрометаллургическая обработка [10]. Этот способ имеет существенное преимущество – отсутствие вредных выбросов, так как сернистый газ превращается в сульфат натрия и не выделяется в газовую фазу, а молибден остается в огарке в форме молибдата натрия.

В рамках докторской диссертации были проведены лабораторные эксперименты на медно-молибденовой руде Шатыркуль-Жайсанского кластера. Исследования включали обжиг промпродукта с карбонатом натрия, водное выщелачивание огарка и фильтрацию пульпы. В результате удалось достичь извлечения молибдена в раствор на уровне 97,73%.

Проведенный литературный анализ позволяет сделать вывод о том, что расширение знаний в этом вопросе позволит осуществлять более эффективное управление процессами переработки молибденового сырья и повысить его эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин Д.С., Халезов Б.Д., Крашенинин А.Г. Сырьевая база молибдена // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 113–121 (на русском языке)
2. Молибден в современной металлургии: минерально-сырьевая база и производство молибденовых концентратов / Г.В. Галевский [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. 2020. С. 32–46 (на русском языке)
3. Гаосонг Йи, Элой Мача, Джефф Ван Дайк, Рафаэль Эд Мача, Тим Маккей, Майкл Л. Фри. (Сентябрь 2021). Недавний прогресс в исследованиях флотации молибденита: обзор // Достижения в области коллоидоведения и взаимодействия. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186862100107X?via%3Dihub> (на английском языке)
4. Аналитический обзор способов переработки молибденовых концентратов и промпродуктов / А.Н. Шодиев [и др.] // Universum: технические науки. 2022. № 5 (98). С. 31–34 (на русском языке)
5. Гидрометаллургическая переработка молибденового фарша из руд Шатыркуль-Жайсанского кластера / Л. Каримова [и др.] // Горно-металлургический журнал, раздел В «Металлургия». 2024. № 1. С. 71–83 (на английском языке)
6. Анализ и способы переработки молибденсодержащего сырья / А.Н. Шодиев [и др.] // Universum: технические науки. 2022. № 5 (98). С. 35–38 (на русском языке)
7. Алешин Д.С. Извлечение молибдена натрий-карбонатными растворами из одного из Южно-Шамейских месторождений / Алешин Д.С. [и др.] // Металлург. 2023. № 67 (5–6). С. 879–885 (на английском языке)
8. Имидиев В.А., Бербенов А.О., Александров П.В. Комбинированный способ переработки молибденитовых концентратов на основе обжига с карбонатом натрия // Труды Кольского научного центра РАН. Химия и материаловедение. 2021. № 2 (5). С. 111–113 (на русском языке)
9. Соколова Ю.В. Исследование обжига молибденового концентрата с известью в воздушной атмосфере // Химия и хим. технология. 2022. № 2. С. 120–126 (на русском языке)
10. Алешин Д.С. Термодинамическое моделирование обжига сульфидного молибденового концентрата с гидроксидом кальция / Д.С. Алешин [и др.] // iPOLYTEX Journal. 2021. Т. 25. № 6. С. 773–781 (на русском языке)
11. Новая технология самонагревающегося обжига молибденового концентрата / Лянь юн Ван [и др.] // Материалы и техника для редких металлов. 2015. Т. 44. Вып. 11. С. 2618–2622 (на английском языке)
12. Особенности окисления при обжиге ReS_2 и MoS_2 в порошкообразном ренийсодержащем низкосортном молибденовом концентрате / Фань Сяохуэй [и др.] // Труды Общества цветных металлов Китая. 2019. Т. 29. Вып. 4. С. 840–848 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алешин Д.С., Халезов Б.Д., Крашенинин А.Г. Молибденнің шикізат базасы // Жоғары оқу орындарының жаңалықтары // Тау журналы. 2019. № 7. Б. 113–121 (орыс тілінде)

2. Қазіргі металлургиядағы молибден: минералды-шикізат базасы және молибден концентраттарын өндіру / Г.В. Галевский [және т. б.] // Ресей жаратылыстану ғылымдары Академиясының тау-кен металлургия секцияларының хабаршысы. 2020. Б. 32–46 (орыс тілінде)
3. Гаосонг Йи, Элой Мача, Джефф Ван Дайк, Рафаэль Эд Мача, Тим Маккей, Майкл Л. Фри. (2021 жылдың қыркүйек айы). Молибденит флотациясын зерттеудегі соңғы прогресс: шолу. Коллоидтану және өзара әрекеттесу саласындағы жетістіктер. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186862100107X?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
4. Молибден концентраттары мен өнеркәсіптік өнімдерді өңдеу әдістеріне аналитикалық шолу / А.Н. Шодиев [және т. б.] // Universum: техникалық ғылымдар. 2022. № 5 (98). Б. 31–34 (орыс тілінде)
5. Шатыркөл-Жайсан кластерінің кендерінен тартылған молибденді гидрометаллургиялық өңдеу / Л. Каримова [және т. б.] // Тау-кен металлургиялық журналы, «Металлургия» бөлімі. 2024. № 1. Б. 71–83 (ағылшын тілінде)
6. Құрамында молибден бар шикізатты талдау және өңдеу әдістері / А.Н. Шодиев [және т. б.] // Universum: техникалық ғылымдар. 2022. № 5 (98). Б. 35–38 (орыс тілінде)
7. Оңтүстік Шамей кен орындарының бірінен натрий-карбонатты ерітінділермен молибден алу / Д.С. Алешин [және т. б.] // Металлург. 2023. № 67 (5-6). Б. 879–885 (ағылшын тілінде)
8. Имидиев В.А., Бербенов А.О., Александров П.В. Натрий карбонатымен күйдіру негізінде молибденит концентраттарын өңдеудің аралас әдісі // РПА Кола ғылыми орталығының еңбектері. Химия және материалтану. 2021. № 2 (5). Б. 111–113 (орыс тілінде)
9. Соколова Ю.В. Молибден концентратын ауа атмосферасында әкпен күйдіруді зерттеу // Химия және химиялық технология. 2022. № 2. Б. 120–126 (орыс тілінде)
10. Сульфидті молибден концентратын кальций гидроксидімен күйдіруді термодинамикалық модельдеу / Д.С. Алешин [және т. б.] // iPOLYTEX Journal. 2021. Т. 25. № 6. Б. 773–781 (орыс тілінде)
11. Молибден концентратын өздігінен қыздырудың жаңа технологиясы / Лян Юн Ван [және т. б.] // Сирек металдарға арналған материалдар мен техника. 2015. Т. 44. Шығ. 11. Б. 2618–2622 (ағылшын тілінде)
12. ReS_2 және MoS_2 ұнтақты рений бар төмен сортты Молибден концентратында күйдіру кезіндегі тотығу ерекшеліктері / Фан Сяохуэй [және т. б.] // Қытай түсті металдар қоғамының еңбектері. 2019. Т. 29. Шығ. 4. Б. 840–848 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Aleshin D.S., Khalezov B.D., Krashenin A.G. Syr'evaya baza molibdena [Molybdenum raw material base], Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News from universities. Mining magazine]. 2019. No.7. 113–121 pp. (in Russian)
2. Molibden v sovremennoi metallurgii: mineral'no-syr'evaya baza i proizvodstvo molibdenovykh kontsentratorov [Molybdenum in modern metallurgy: mineral resource base and production of molybdenum concentrates], G.V. Galevskii [et al.], Vestnik gorno-metallurgicheskii seksii Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk [Bulletin of the mining and metallurgical sections of the Russian Academy of Natural Sciences]. 2020. 32–46 pp. (in Russian)
3. Gaosong Yi, Eloy Macha, Jeff Van Dyke, Rafael Ed Macha, Tim McKay, Michael L. Free. (September 2021). Recent Progress on Research of Molybdenite Flotation: A Review. Advances in Colloid and Interface Science. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186862100107X?via%3Dihub> (in English)
4. Analiticheskii obzor sposobov pererabotki molibdenovykh kontsentratorov i promproduktov [Analytical review of methods for processing molybdenum concentrates and industrial products], A.N. Shodiev [et al.], Universum: tekhnicheskie nauki [Universum: technical sciences]. 2022. No. 5 (98). 31–34 pp. (in Russian)
5. Hydrometallurgical processing of molybdenum middlings from Shatyrcul-Zhaysan cluster ore / L. Karimova [et al.] // Journal of Mining and Metallurgy Section B Metallurgy. 2024. No. 1. 71–83 pp. (in English)
6. Analiz i sposoby pererabotki molibdensoderzhashchego syr'ya [Analysis and methods of processing molybdenum-containing raw materials], A.N. Shodiev [et al.], Universum: tekhnicheskie nauki [Universum: technical sciences]. 2022. No. 5 (98). 35–38 pp. (in Russian)
7. Recovery of Molybdenum with Sodium-Carbonate Solutions from Ore of the Yuzhno-Shameisky Deposit / D.S. Aleshin [et al.] // Metallurgist. 2023. No. 67 (5–6). 879–885 pp. (in English)
8. Imidiev V.A., Berbenov A.O., Aleksandrov P.V. Kombinirovannyi sposob pererabotki molibdenitovykh kontsentratorov na osnove obzhiga s karbonatom natriya [Combined method for processing molybdenite concentrates on the basis of roasting with sodium carbonate]

- concentrates based on roasting with sodium carbonate*], *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Khimiya i materialovedenie [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Chemistry and materials science]*. 2021. No. 2 (5). 111–113 pp. (in Russian)
9. Sokolova Yu.V. *Issledovanie obzhiga molibdenovogo kontsentrata s izvest'yu v vozdushnoi atmosfere [Study of roasting molybdenum concentrate with lime in an air atmosphere]*, *Khimiya i khim. tekhnologiya [Chemistry and chem. technology]*. 2022. No. 2. 120–126 pp. (in Russian)
 10. *Thermodynamic modeling of firing of molybdenum sulfide concentrate with calcium hydroxide [Thermodynamic modeling of roasting molybdenum sulfide concentrate with calcium hydroxide]*, D.S. Aleshin [et al.], *Zhurnal iPOLYTEX [iPOLYTEX Journal]*. 2021. V. 25. No. 6. 773–781 pp. (in Russian)
 11. *A novel self-heated roasting technology for molybdenum concentrate / Lianyong Wang [and others] // Rare metal materials and engineering*. 2015. V. 44. Issue 11. 2618–2622 pp. (in English)
 12. *Roasting oxidation behaviors of ReS₂ and MoS₂ in powdery rhenium-bearing, low-grade molybdenum concentrate / Fan Xiao-hui [et al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2019. V. 29. Issue 4. 840–848 pp. (in English)

Информация об авторах:

Тусупбекова Т.Ш., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), tansholpan_87.09@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

Баимбетов Б.С., к.т.н., доцент, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), b.baimbetov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>

Каримова Л.М., д.т.н., доцент, начальник лаборатории металлургии ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), l.karimova@kazgidromed.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>

Мамяченков С.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия), s.v.mamiachenkov@urfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4458-3792>

Авторлар туралы мәліметтер:

Түсіпбекова Т.Ш., «Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Баимбетов Б.С., техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Каримова Л.М., техника ғылымдарының докторы, доцент, ТОО «КазГидроМедь» металлургия лабораториясының бастығы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мамяченков С.В., техника ғылымдарының докторы, профессор, УрФУ түсті металдар металлургиясы кафедрасының меңгерушісі (Екатеринбург қ., Ресей)

Information about the authors:

Tussupbekova T.Sh., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Baimbetov B.S., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Karimova L.M., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Metallurgy Laboratory of Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Mamyachenkov S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metallurgy of Non-ferrous Metals at UrFU (Yekaterinburg, Russia)



**ASTANA MINING
AND METALLURGY**

2025



05

Астана, Казахстан

**06
ИЮНЯ**

**КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ СФЕРЫ
КАЗАХСТАНА**

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

www.amm.kz

Код МРНТИ 52.47.27

А.Н. Есендосова, *А.К. Абдуллина, Н.С. Малыбаев
Abylka Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАВОДНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕТЫБАЙ

Аннотация. В статье представлен анализ заводнения горизонта Ю-2+3 месторождения Жетыбай на основе детального исследования современного состояния развития геологической устойчивости и эффективности системы поддержания пластового давления (ППД). Рассмотрены результаты ранжирования блоков по плотности остаточных извлекаемых запасов, охвату заводнением и текущему коэффициенту извлечения нефти (КИН). Проведен сравнительный анализ заявленного и прогнозируемого КИН, а также в зависимости от коэффициента охвата заводнением по объему и объему обводненности КИН. Выявлены проблемные блоки с низким темпом отбора и высоким потенциалом увеличения добычи нефти за счет уплотняющего бурения добывающих скважин и реконфигурации. Результаты исследования подтверждают необходимость корректировки системы производства для повышения охвата по объемам и достижения проектных показателей добычи нефти.

Ключевые слова: нефть, заводнение, месторождение, Жетыбай, горизонт Ю-2+3, остаточные извлекаемые запасы, коэффициент извлечения нефти.

Жетібай кен орнындағы су айдау процестерін зерттеу

Аңдатпа. Мақалада Жетібай кен орнының Ю-2+3 горизонтының су басу жүйесінің қазіргі жағдайын, геологиялық тұрақтылықтың даму деңгейін және қабаттық қысымды сақтау жүйесінің тиімділігін жан-жақты зерттеу негізінде талдау ұсынылған. Қалдық алынатын қорлардың тығыздығы, су басумен қамту және ағымдағы мұнай алу коэффициенті (АМК) бойынша блоктарды ранжирлеу нәтижелері қарастырылған. Декларацияланған және болжамды АМК арасындағы салыстырмалы талдау, сондай-ақ су басу коэффициентіне байланысты АМК көлемі мен су қанықтылық көлемі бойынша жүргізілген. Өндірудің төмен қарқынымен және бұрғылау ұңғымаларын тығыздау мен қайта конфигурациялау арқылы мұнай өндіруді арттырудың жоғары әлеуеті бар проблемалық блоктар анықталған. Зерттеу нәтижелері мұнай өндірудің жобалық көрсеткіштеріне қол жеткізу үшін өндірістік жүйелерді реттеу қажеттілігін растайды.

Түйінді сөздер: мұнай, су басу, кен орны, Жетібай, Ю-2+3 горизонты, қалдық алынатын қорлар, мұнай алу коэффициенті.

Study of the reservoir flooding processes at the Zhetybai field

Abstract. The article presents an analysis of the flooding of the Yu-2+3 horizon of the Zhetybai field based on a detailed study of the current state of geological stability development and the effectiveness of the formation pressure maintenance system (FPM). The results of block ranking by residual recoverable reserves density, flooding coverage, and current oil recovery factor (ORF) are considered. A comparative analysis of the declared and predicted ORF is conducted, as well as its dependence on the flooding coverage coefficient by volume and water cut volume. Problematic blocks with low extraction rates and high potential for increasing oil production through infill drilling of production wells and reconfiguration are identified. The research results confirm the need for adjustment of production systems to increase coverage by volume and achieve the target oil production indicators.

Key words: oil, flooding, field, Zhetybai, Yu-2+3 horizon, residual recoverable reserves, oil recovery factor.

Введение

На территории Южного Мангышлака важное значение приобретает вопрос поисков залежей нефти и газа в отложениях юры [1]. Однако для поисков ловушек неструктурного типа необходимы полные сведения по геологическому строению и литолого-фациальным особенностям рассматриваемых отложений по всему району в целом [2].

Основные компоненты пойменно-руслового комплекса – русла и поймы можно представить себе как активную и пассивную его части. Русло динамично: движущийся в нем водный поток переносит наносы, формирует русловой рельеф, размывает берега и намывает новые участки поймы. Пойма возникает в процессе русловых деформаций, ее облик формируется, в основном, под влиянием механизмов руслоформирования. Поэтому пойма играет в составе пойменно-руслевых комплексов (ПРК), в целом, пассивную роль, и влияет на русло косвенно, либо выполняя функцию его берегов [3].

При отсутствии данного анализа границы блоков проводятся по зонам наименьших перетоков пластовых флюидов из одной части объекта разработки в другую. Такими границами могут служить ряды нагнетательных скважин, в том числе ликвидированных, а также внешние контура нефтеносности. В случаях, когда нефтяная залежь не разделена нагнетательными рядами или геологическими границами, и выполнение условия о неперетоке между частями залежи ставится под сомнение, рекомендуется в крупные блоки объединять участки залежи с примерно одинаковой сеткой разработки, а границы блоков проводить через зону минимальных мощностей, либо через середину расстояния между добывающими скважинами, которые относятся к смежным блокам [4].

Блоки по горизонту Ю-2+3 месторождения Жетыбай выделялись по имеющимся данным об особенностях геологического строения. Рассматривается уточнение строения залежей Ю-2+3 по результатам построенных карт, таких как карта проницаемости, пористости, коэффициента песчаности, общих толщин, эффективных нефтенасыщенных толщин. Перечисленные карты не дали результатов, кроме того, что на месторождении недостаточно исследований по ГДИС и замеру пластовых давлений, а имеющиеся данные не отражают истинной картины давления пластов. Проведена фациальная диагностика по ГК по существующим стандартным формам для конкретной фациальной группы. Определена литология отложений по данным каротажа и выявлены зоны пойм и русел. Из-за отсутствия актуальных сейсмических исследований были выделены перспективные зоны по картам общих толщин. Таким образом, были выделены наиболее проницаемые зоны, способствующие ускоренной фильтрации закачки, ведущей к обводненности пластов [5]. На рис. 1 представлена карта накопленных отборов горизонта Ю-2+3 месторождения Жетыбай с выделенными блоками. Блоки горизонта были отранжированы по плотности остаточных извлекаемых запасов, пересчитанные через характеристику вытеснения ВНФ (водонефтяной фактор) $= f(\text{накопленная добыча нефти})$.

Всего по горизонту Ю-2+3 было выделено 9 блоков. Принцип выделения блоков основывался на условии объединения в одни блоки участков залежи с примерно одинаковой сеткой разработки.

Утвержденные начальные геологические запасы (НГЗ) (Подсчет запасов, 2009) по горизонту Ю-2+3 оцениваются на уровне 36 687 тыс. т, начальные извлекаемые запасы (НИЗ) нефти оцениваются на уровне 9 416 тыс. т, оста-

точные извлекаемые запасы (ОИЗ) нефти – 6 234 тыс. т, текущий КИН – 9% при утвержденном 25,7%, текущая обводненность – 47,3%, текущая компенсация оценивается на уровне 212%, накопленная компенсация 175,8%. Текущие параметры приведены на 2017 год [6, 7, 8].

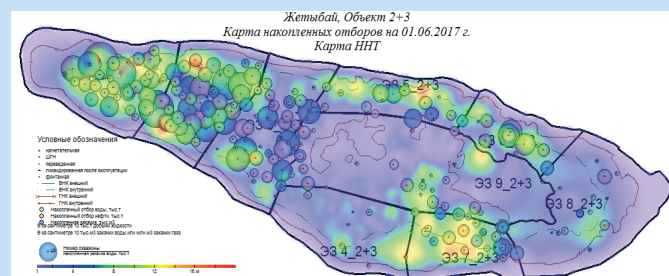


Рис. 1. Горизонт Ю-2+3. Карта накопленных отборов на 01.06.2017 г. Карта ННТ.

Сурет 1. Ю-2+3 горизонты. 01.06.2017 ж. жағдайындағы жинақталған іріктеулер картасы. Мұнаймен қаныққан қабаттардың қалыңдығы картасы.

Figure 1. Yu-2+3 Horizon. Map of accumulated selections as of June 1, 2017. Map of oil saturated thickness.

В результате ранжирования были выявлены проблемные блоки по таким параметрам, как низкий охват заводнением, недостаточная разбуренность. Наибольшая величина плотности остаточных извлекаемых запасов в блоках 2, 3, 5. Блоки 5, 4, 7, 8 характеризуются темпом отбора от ОИЗ за 2016 год менее 5%, учитывая тот факт, что среднее расстояние между скважинами в этих блоках наибольшее, можно предположить, что эти блоки имеют потенциал на увеличение добычи путем уплотняющего бурения. Результаты ранжирования блоков горизонта

Ю-2+3 по плотности остаточных извлекаемых запасов представлены в таблице 1.

Методика исследования

Для оценки текущего состояния разработки блоков был использован минимальный перечень инструментов, который поможет провести дополнительный скрининг блоков. Были использованы следующие зависимости:

- КИН от среднего расстояния между скважинами;
- текущее пластовое давление от текущей и накопленной компенсации;
- КИН от коэффициента охвата заводнением по объему (Е_v);
- КИН от массовой обводненности [4, 5].

По каждому блоку были построены графики зависимости ВНФ от накопленной добычи нефти, были сопоставлены НИЗ по утвержденному КИН и НИЗ, полученные по характеристике вытеснения. Был использован график – АВС плот.

Детально рассмотрим зависимость КИН от коэффициента охвата заводнением по объему (Е_v). Данный диагностический график позволяет оценить, каким образом нагнетание воды повлияло на добычу нефти, и насколько фактическая динамика отборов и закачки соответствует проектным показателям.

Для построения графика на первом этапе необходимо рассчитать Е_v. Охват заводнением по объему показывает, какой процент подвижного порового объема пласта заполнен водой, ранее туда закаченной и не добытой.

$$E_v = \frac{(W_i - W_p) \cdot B_w}{PV \cdot (1 - S_{wc} - S_{or})} = \frac{(W_i - W_p) \cdot B_w}{MOPV}, \quad (1)$$

где S_{wc} , S_{eo} – Connate water saturation, водонасыщенность остаточная, д. ед., %;

Результаты ранжирования блоков горизонта Ю-2+3

Ю-2+3 горизонты блоктарының ранжирлеу нәтижелері

Results of Block Ranking for the Yu-2+3 Horizon

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Номер блока	НГЗ	НИЗ _{проект}	ОИЗ (НИЗ _{проект} - Добыча)	Отбор от НИЗ по добыче	Текущий КИН на 01.2017	Темпы отбора от ОИЗ по добыче за 2016	НИЗ _{ВНФ}	ОИЗ (НИЗ _{ВНФ} - Добыча)	Плотность ОИЗ (НИЗ _{проект} - Добыча)	Плотность ОИЗ (НИЗ _{ВНФ} - Добыча)
	тыс.т.	тыс. т.	тыс. т.	%	д. ед.	%	тыс.т.	тыс. т.	т/м ²	т/м ²
2_2+3	4583	1178	81	93	0.24	60	2241	1145	0.01	0.16
3_2+3	3645	937	391	58	0.15	15	1563	1018	0.05	0.13
5_2+3	2853	733	611	17	0.04	4	701	578	0.12	0.12
4_2+3	3196	821	806	2	0.00	0,4	718	702	0.12	0.10
1_2+3	5956	1531	713	53	0.14	9	1585	768	0.08	0.09
9_2+3	5025	1292	1072	17	0.04	5	1383	1163	0.07	0.08
7_2+3	3204	823	706	14	0.04	3	401	284	0.15	0.06
6_2+3	2325	598	236	61	0.16	13	433	71	0.06	0.02
8_2+3	5609	1441	1355	6	0.02	1	209	123	0.13	0.01

S_{or} , S_{no} – Residual oil saturation, нефтенасыщенность остаточная, д. ед., %;

W_i – Water injection, накопленная закачка воды, м³;

W_p – Water production, накопленная добыча воды, м³;

B_w , B_o – объемный коэффициент воды, м³ пл. усл. / м³ пов. усл.

Параметр, характеризующий уменьшение объема пластовой воды при изменении условий от пластовых до стандартных. Не является константой и зависит от условий сепарации;

PV – Pore volume, поровый объем, м³;

$MOPV$ – Movable pore volume – поровый объем, занятый подвижными углеводородами.

$$PV = S * h_{nn} * K_p, \quad (2)$$

где S – площадь нефтеносности, м²;

h_{nn} – начальная нефтенасыщенная мощность, м²;

K_p , m – Коэффициент пористости, дол. ед.

$$MOPV = PV(1 - S_{wc} - S_{or}). \quad (3)$$

В качестве эталонной кривой, для того чтобы понять насколько кривая, построенная по фактическим данным, отклоняется от параметров, заложенных в проектном документе, на график зависимости $КИН = f(E_p)$ наносится линия, которая начинается в координатах $X = 0$; $Y =$ текущий КИН до начала закачки и заканчивается в $X = K_{охвата}$; $Y =$ утвержденный по проекту КИН.

$$K_{охвата} = \frac{КИН_{утвержденный по проекту}}{K_{выт}}. \quad (4)$$

Следующим инструментом, на котором хотелось бы остановиться, является АВС плот. АВС сокращение от After Before Compare, что переводится как сравнение до и после. Данный инструмент был применен для группировки блоков по изменению среднесуточной среднескважинной добычи нефти и воды за рассматриваемый период

времени. Даты для сравнения – это текущая дата и дата, сдвинутая на несколько месяцев назад, рекомендуемый для анализа интервал – 3 месяца [9, 10, 11].

По оси X АВС плота размещено отношение текущей среднесуточной среднескважинной добычи воды к предыдущей, по оси Y – отношение среднесуточной среднескважинной добычи нефти к предыдущей. В зависимости от того, в какую зону попал блок, можно группировать и интерпретировать результаты блоков по изменению добычи воды и нефти [12].

Результаты исследования

В район работ БКНС-3 вошли блоки 3, 4, 9 и небольшая часть блока 5 (рис. 2).

Если говорить об энергетическом состоянии залежи, то текущее пластовое давление (данные основываются на карту изобар, построенную на данных гидродинамических исследований за период 2015–2017 годы) в данных

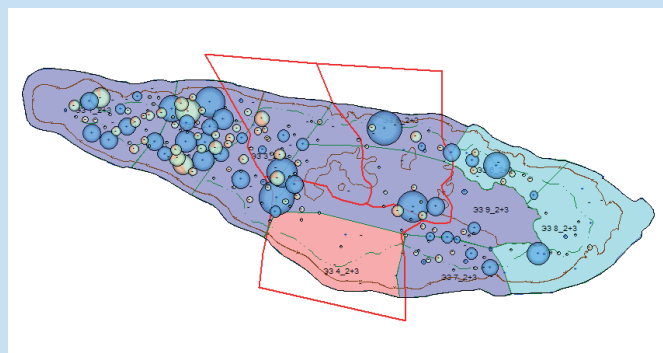


Рис. 2. Горизонт Ю-2+3. Карта текущих отборов на 01.12.2017.

Сурет 2. Ю-2+3 горизонты. 01.12.2017 жағдайындағы ағымдағы алу картасы.

Figure 2. Horizon Yu-2+3. Current Withdrawals Map as of 01.12.2017.

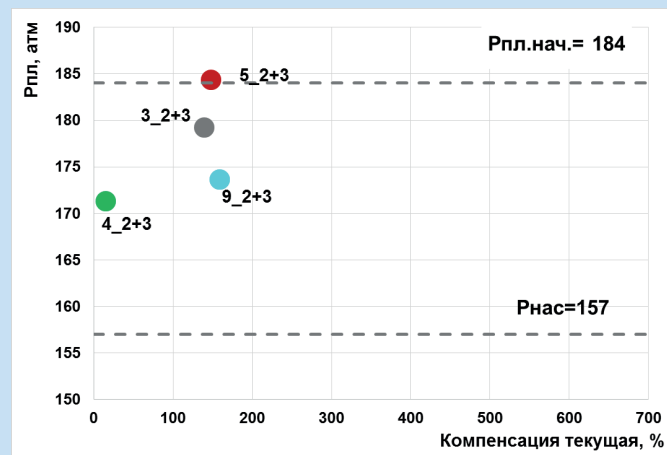


Рис. 3. График пластового давления от текущей компенсации.

Сурет 3. Қазіргі өтемақыға байланысты қабаттық қысым графигі.

Figure 3. Plot of formation pressure versus current compensation.

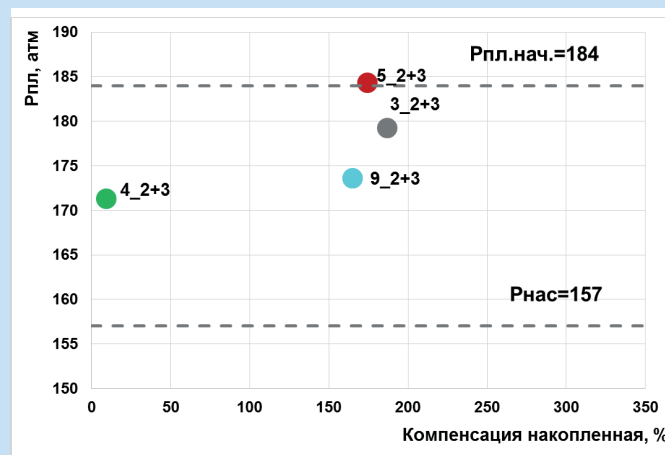


Рис. 4. График пластового давления от накопленной компенсации.

Сурет 4. Жинақталған өтемақыға байланысты қабаттық қысым графигі.

Figure 4. Plot of formation pressure versus cumulative compensation.

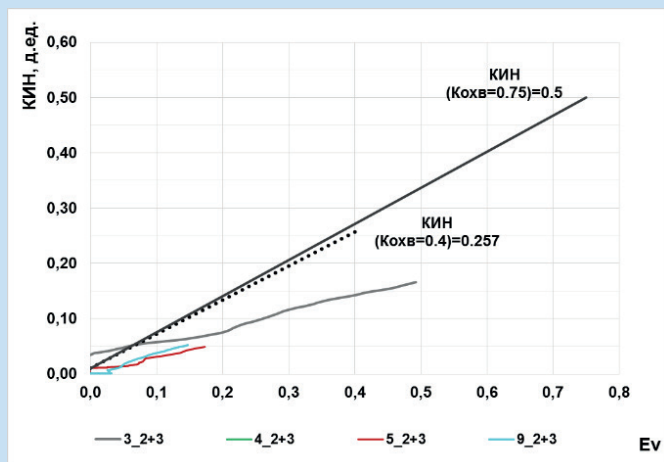


Рис. 5. График КИН от охвата по объему Evol.
Сурет 5. Мұнай алу коэффициентінің Evol көлемін
камтуға тәуелділік графигі.
Figure 5. Plot of Oil Recovery Factor vs. Evol Volume
Coverage.

блоках ниже начального пластового давления в среднем на 2%, при том, что текущая компенсация и накопленная компенсация по всем 3 блокам менее 200%, что характеризует нормальное состояние охвата заводнением (рис. 3, рис. 4).

По приведенным ниже графикам (рис. 5, рис.6) можно сделать следующие выводы: низкий охват вытеснением, что связано с неорганизованной системой ППД. Для того, чтобы достичь проектного КИН, необходимо организовать закачку, которая приведет к коэффициенту охвата по объему, равной 0,4. На данный момент блоки 5, 6, 9 демонстрируют коэффициент охвата чуть ближе 0,2. График КИН от обводненности также показывает резкое увеличение обводненности и низкий темп роста отборов нефти. По данному графику можно также наблюдать периоды, когда обводненность снижается, это связано с вводом новых добывающих скважин.

Утвержденный КИН по горизонту Ю-2+3 равен 25,7%. Был проведен анализ сравнения утвержденного КИН с КИН, рассчитанным по характеристике вытеснения. На рис. 7 приведена гистограмма сравнения проектного и прогнозных КИН по блокам, а также информация о текущем положении КИН. Блоки, вошедшие в анализируемый БКНС-3, демонстрируют следующее: по блокам 5 и 9 самые низкие текущие КИН при высоким прогнозным КИН, вероятнее всего существующим фондом проектный КИН достигнут не будет, по блоку 6 проектный и прогнозный КИН находятся примерно в одном диапазоне, однако есть необходимость изменения текущего состояния разработки.

Блок 6 характеризуется нормальной разбуренностью с 6 добывающими скважинами, а также тем самым текущим КИН вполне достигает КИН ВНФ. На рис. 7 приведено сравнение КИН по ВНФ с проектными КИН и с текущим КИН. Вероятность того, что по блоку 6 проектный КИН будет достигнут, крайне низка. Блок 9 имеет потенциал на увеличение добычи нефти путем бурения новых скважин,

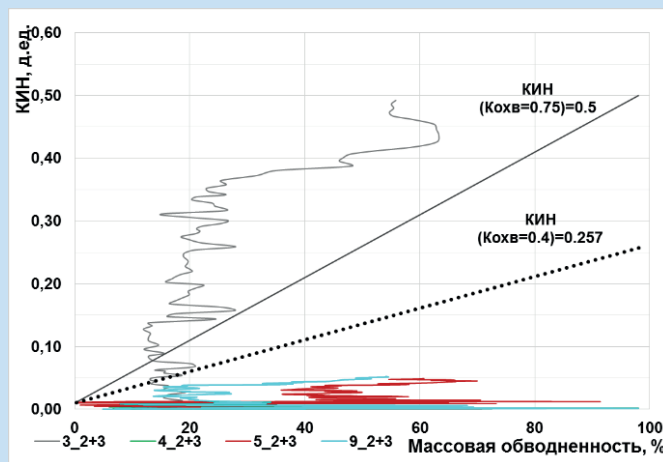


Рис. 6. График КИН от обводненности.
Сурет 6. Мұнай алу коэффициентінің сулануға
тәуелділік графигі.
Figure 6. Plot of Oil Recovery Factor vs. Water Cut.

ЗБС и переводов скважин с других горизонтов, при этом необходимо предусмотреть реконфигурацию существующей системы ППД с учетом особенностей геологического строения района работ для повышения охвата заводнением и компенсации отборов.

Блок 6 на данный момент является примерным блоком по основным показателям разработки: компенсация (текущая компенсация на начало мая 2017 года составляет 155%, при том, что пластовое давление выше начального на 1,5%); КИН (текущий КИН составляет 16%, КИН по характеристике вытеснения – 19%). Сложившейся системой разработки, в том числе СППД, проектные НИЗ вероятнее всего добыты не будут.

Границы блока 9 проходят по контуру ГНК. Часть скважин работала с высоким газовым фактором, в связи с наличием газовой шапки, высота которой равна 48 м (Подсчет запасов, 2008).

Данный блок по характеристике вытеснения демонстрирует КИН выше утвержденного, соответственно НИЗ

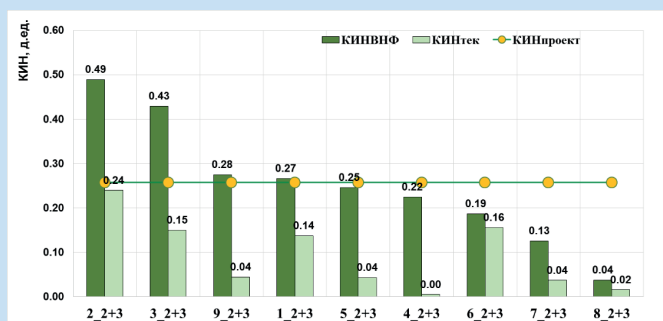


Рис. 7. Гистограмма сравнения проектных и прогнозных КИН.
Сурет 7. Жобалық және болжамды мұнай алу
коэффициентін салыстыру гистограммасы.
Figure 7. Histogram comparing design and forecasted oil
recovery factor.

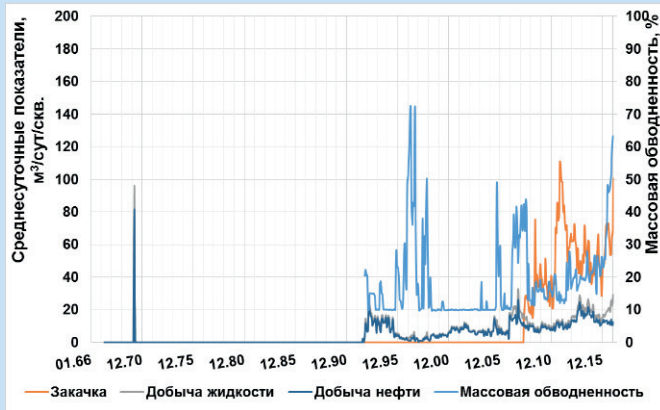


Рис. 8. Блок 3. Среднесуточные показатели разработки.

Сурет 8. 3-блок. Орташа тәуліктік игеру көрсеткіштері.

Figure 8. Block 3. Average daily development indicators.

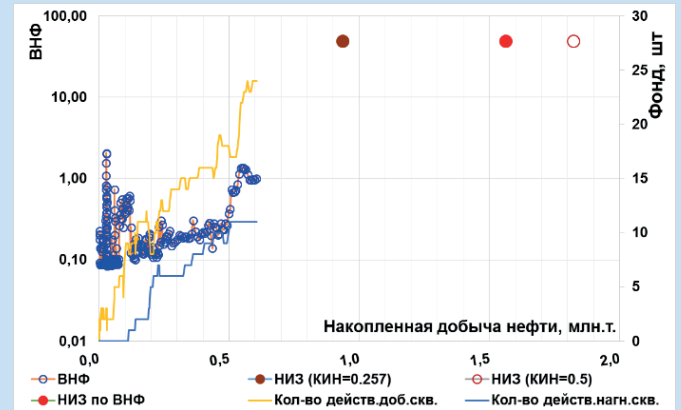


Рис. 9. Блок 3. График зависимости водонефтяной фактор от накопленной добычи.

Сурет 9. 3-блок. Жинақталған өндіруге байланысты су-мұнай коэффициентінің графигі.

Figure 9. Block 3. Plot of water oil ratio vs. cumulative production.

больше, чем по проекту. Вероятнее всего это связано с недооцененностью запасов в данном блоке. В блоке есть потенциал на увеличение добычи.

На рис. 8, 9 приведены среднесуточные показатели разработки и график зависимости ВНФ от накопленной добычи по блоку 3 как еще один инструмент для анализа работы блока. В последние периоды работы блока происходит наращивание добычи нефти и снижение обводненности, что связано с увеличением фонда, и как следствие, это отразилось на кривой ВНФ.

Выводы

Эффективность заводнения горизонта Ю-2+3 месторождения Жетыбай ограничена рядом факторов, включая низкий охват вытеснением, недостаточную разбуренность и неорганизованную систему поддержания пластового давления (ППД). Выявлены проблемные блоки (5, 6, 9),

характеризующиеся низкими текущими коэффициентами добычи нефти (КИН) и высоким потенциалом увеличения добычи за счет уплотняющего бурения и оптимизации системы ППД. Литолого-фациальный анализ горизонта Ю-2+3 позволяет выделить пойменные и русловые зоны, которые существенно влияют на фильтрационные процессы и эффективность заводнения. Анализ графиков в зависимости от охвата заводов КИН и объемов обводненности показал необходимость повышения охвата по объему (E_v) до уровня 0,4 для достижения проектного КИН. В блоке 9 определен потенциал увеличения добычи нефти за счет корректировки разработки системы, перевода скважин с других горизонтов и бурения новых скважин. Текущая компенсация в большинстве блоков находится на удовлетворительном уровне, однако требуется более детальная реконфигурация системы ППД с учетом геологических условий горизонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вовлечение в разработку недренируемых запасов нефти на месторождении Жетыбай / Б.Б. Тлегенов [и др.] // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2020. № 4 (5). С. 51–62 (на русском языке)
2. Тулешева Г.Д. Анализ опыта применения методов интенсификации добычи нефти на месторождении Жетыбай. // Нефть, газ и бизнес. 2016. № 6. С. 22–31 (на русском языке)
3. Уолкотт Д. Разработка и управление месторождениями при заводнении: М., 2001. 144 с. (на английском языке)
4. Садчиков А.В., Абдуллина А.К. Методические рекомендации по анализу заводнения и управлению им // Молодой ученый. 2020. № 15 (305). С. 128–133 (на русском языке)
5. Численное моделирование заводнения природных трещиноватых коллекторов на основе метода конечных элементов контрольного объема / Руи-хан Чжан [и др.] // Журнал нефтяной науки и инженерии. 2016. Т. 146. С. 1211–1225 (на английском языке)
6. Тулешева Г.Д., Саенко О.Б. Повышение нефтеотдачи на месторождениях Мангышлака // Нефтепромысловое дело. 2016. № 8. С. 23–30 (на русском языке)
7. Эффективность применения нестационарного заводнения на месторождении Жетыбай (Республика Казахстан) / А.Б. Бакиева [и др.] // Территория Нефтегаз. 2023. № 3–4. С. 30–40 (на русском языке)

8. Тулешева Г.Д. Анализ эффективности мероприятий по интенсификации добычи нефти на месторождении Жетыбай // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2012. № 2. С. 33–48 (на русском языке)
9. Оптимизация системы заводнения на основе модели CRM / Т.А. Поспелова [и др.] // Нефтепромысловое дело. 2020. № 7 (619). С. 5–10 (на русском языке)
10. Коннов И.А. Применение современных инструментов и технологий для более точного прогнозирования заводнения // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 102–5. С. 116–119 (на русском языке)
11. Э. Хейдари-Фарсани, Дж.Э. Нейлсон, Г.И. Алсон, Х. Хамиди. (Октябрь 2020 г.). Влияние типа горной породы на естественное заводнение и остаточную нефтенасыщенность ниже уровня свободной воды и водонефтяного контакта: пример из Ближнего Востока. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-petroleum-science-and-engineering/vol/193/suppl/C> (на английском языке)
12. Цзе Хэ, Сяодун Лю, Синью Чжу и др. (28 января 2021 г.) Характеристики обводнения литологического резервуара в бассейне Ордос. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82035-4#citeas> (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жетібай кен орнында ағызылмайтын мұнай қорларын игеруге тарту / Б.Б. Тлегенов [және т. б.] // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2020. № 4 (5). Б. 51–62 (орыс тілінде)
2. Тулешева Г.Д. Жетібай кен орнында мұнай өндіруді қарқындату әдістерін қолдану тәжірибесін талдау // Мұнай, газ және бизнес. 2016. № 6. Б. 22–31 (орыс тілінде)
3. Уолкотт Д. Су тасқыны кезінде кен орындарын игеру және басқару: М., 2001. 144 б. (ағылшын тілінде)
4. Садчиков А.В., Абдуллина А.К. Су тасқынын талдау және басқару бойынша әдістемелік ұсыныстар // Жас ғалым. 2020. № 15 (305). Б. 128–133 (орыс тілінде)
5. Су тасқындарын табиғи жарықтармен резервуарларда басқару көлемі әдісі негізінде сандық модельдеу. / Руи-хан Чжан [және т. б.] // Мұнай ғылымы және инженерия журналы. 2016. Т. 146. Б. 1211–1225 (ағылшын тілінде)
6. Тулешева Г.Д., Саенко О.Б. Маңғышлақ кен орындарында мұнай беруді арттыру // Мұнай кәсіпшілігі. 2016. № 8. Б. 23–30 (орыс тілінде)
7. Жетібай кен орнында (Қазақстан Республикасы) стационарлық емес су тасқынын қолданудың тиімділігі / А.Б. Бакиева [және т. б.] // Мұнай-газ аумағы. 2023. № 3–4. Б. 30–40 (орыс тілінде)
8. Тулешева Г.Д. Жетібай кен орнында мұнай өндіруді қарқындату жөніндегі іс-шаралардың тиімділігін талдау // НИПИ Нефтегаз ГНКАР ғылыми еңбектері. 2012. № 2. Б. 33–48 (орыс тілінде)
9. CRM моделі негізінде су басу жүйесін оңтайландыру. / Т.А. Поспелова [және т. б.] // Мұнай кәсіпшілігі. 2020. № 7 (619). Б. 5–10 (орыс тілінде)
10. Коннов И.А. Су тасқынын дәл болжау үшін заманауи құралдар мен технологияларды қолдану // Ғылым мен білімнің даму тенденциялары. 2023. № 102–5. Б. 116–119 (орыс тілінде)
11. Э. Хейдари-Фарсани, Дж.Э. Нейлсон, Г.И. Алсон, Х. Хамиди. (2020 ж. қазан). Жыныс түрінің табиғи су тасқындары мен еркін су деңгейі мен мұнай-судың байланысы астындағы қалдық мұнай қанықтылығына әсері: Таяу Шығыс мысалы. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-petroleum-science-and-engineering/vol/193/suppl/C> (ағылшын тілінде)
12. Цзе Хэ, Сяодун Лю, Синью Чжу және т. б. (2021 жылдың 28 қаңтары). Ордас бассейніндегі литологиялық резервуардың су басу сипаттамалары. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82035-4#citeas> (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Vovlechenie v razrabotku nedreniruemykh zapasov nefi na mestorozhdenii Zhetybai [Development of non drained oil reserves at the zhetybay field], B.B. Tlegenov [et al.], Vestnik neftegazovoi otrasli Kazakhstana [Kazakhstan journal for oil and gas industry]. 2020. No. 4 (5). 51–62 pp. (in Russian)
2. Tulesheva G.D. Analiz opyta primeneniya metodov intensivifikatsii dobychi nefi na mestorozhdenii Zhetybai [Development and application of new enhanced oil recovery methods at the Zhetybai field], Neft', gaz i biznes [Oil, gaz and business]. 2016. No. 6. 22–31 pp. (in Russian)
3. Uolkott D. Field development and management during waterflooding: M., 2001. P. 144 (in English)
4. Sadchikov A.V., Abdullina A.K. Metodicheskie rekomendatsii po analizu zavodneniya i upravleniyu imi [Guidelines for waterflood analysis and management], Molodoi uchenyi [Young scientist]. 2020. No. 15 (305). 128–133 pp. (in Russian)

5. Numerical simulation of water flooding in natural fractured reservoirs based on control volume finite element method / Rui-han Zhang [et al.] // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2016. V. 146. 1211–1225 pp. (in English)
6. Tulesheva G.D., Saenko O.B. Povyshenie nefteotdachi na mestorozhdeniyakh Mangyshlaka [Enhanced oil recovery at Mangyshlak fields], *Neftepromyslovoe delo [Oilfield engineering]*. 2016. No. 8. 23–30 pp. (in Russian)
7. Bakieva A.B. Effektivnost' primeneniya nestatsionarnogo zavodneniya na mestorozhdenii Zhetybai (Respublika Kazakhstan) [Efficiency of non-stationary waterflooding at the Zhetybay field (Republic of Kazakhstan)], *Territoriya Neftegaz [Oil and gas territory]*. 2023. No. 3–4. 30–40 pp. (in Russian)
8. Tulesheva G.D. Analiz effektivnosti meropriyatii po intensivatsii dobychi nefi na mestorozhdenii Zhetybai [Analysis of performance measures for intensification in the Zhetybai oil field], *Nauchnye trudy NPI Neftegaz GNKAR [Proceedings NPI Neftegaz GNKAR]*. 2012. No. 2. 33–48 pp. (in Russian)
9. Optimizatsiya sistemy zavodneniya na osnove modeli CRM [Water cut system optimization based on crm model], T.A. Pospelova [et al.], *Neftepromyslovoe delo [Oilfield engineering]*. 2020. No. 7 (619). 5–10 pp. (in Russian)
10. Konnov I.A. Primenenie sovremennykh instrumentov i tekhnologii dlya bolee tochnogo prognozirovaniya zavodneniya [Application of modern tools and technologies for more accurate waterflood prediction], *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]*. 2023. No. 102–5. 116–119 pp. (in Russian)
11. E. Heydari-Farsani, J.E. Neilson, G.I. Alsop, H. Hamidi. (October 2020). The effect of rock type on natural water flooding and residual oil saturation below free water level and oil water contact: A case study from the Middle East. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-petroleum-science-and-engineering/vol/193/suppl/C> (in English)
12. He J., Liu X., Zhu X. et al. (January 28, 2021). Water-flooding characteristics of lithologic reservoir in Ordos basin. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82035-4#citeas> (in English)

Сведения об авторах:

Есендосова А.Н., доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), ainelesendosova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7415-3630>
Абдуллина А.К., доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), abdullinakrg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0483-2798>
Малыбаев Н.С., к.т.н., доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), malybaevnurlansakenovich@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8977-7400>

Авторлар туралы мәліметтер:

Есендосова А.Н., Ph.D, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КеАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)
Абдуллина А.К., Ph.D, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КеАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)
Малыбаев Н.С., т.ғ.к., кафедрасының доценті «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КеАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Yessendosova A.N., Doctor Ph.D, Senior Lecturer at the Department of mineral deposits Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Abdullina A.K., Doctor Ph.D, Senior Lecturer at the Department of mineral deposits Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Malybayev N.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of mineral deposits Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

MinTech 2025

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



КАЗАХСТАН

**21-23 мая
г. Усть-Каменогорск**

**27-29 мая
г. Павлодар**

**15-17 октября
г. Актобе**

БИЗНЕС-ТУРЫ НА ВЕДУЩИЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КАЗАХСТАНА



АО «Алюминий Казахстана»



Актюбинский завод
ферросплавов АО ТНК
«Казхром»



ТОО «АЭС
Усть-Каменогорская ГЭС»

Организаторы:



+7 708 568-91-08



kazexpo_tech



+7 707 456-53-07



kazexpo.kz



tech@kazexpo.kz

Код МРНТИ 87.15.15

G. Shalabaeva¹, *G. Toychibekova¹, S. Kurbaniyazov¹, A. Damenova²¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan),²Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan)

STUDY OF THE IMPACT OF LIMESTONE MINING AND PROCESSING ON ECOSYSTEMS

Abstract. The paper considers the importance of the extracted limestone of the southern region of our country as a necessary building material based on the analysis methods. Limestone as a non-metallic building material is an important resource for Kazakhstan, providing raw materials not only for the domestic market, but also for foreign trade. However, during the extraction of limestone and its processing into lime or cement, experimental work has established the release of dust particles and harmful gases such as carbon dioxide (CO_2), which is a greenhouse gas. These emissions negatively affect the quality of atmospheric air, as well as human health, leading to respiratory diseases. In order to reduce emissions of CO_2 and other polluting gases during limestone firing, technologies aimed at reducing carbon emissions are being introduced, using alternative energy sources or carbon capture and storage.

Key words: limestone, non-metallic material, ecology, emissions, microcalcite, quarry, mineral.

Әктасты алу және өңдеу процесінің экожүйеге әсерін зерттеу

Аннотация. Жұмыста еліміздің оңтүстік аймағындағы өндірілген әктастың талдау әдістері негізінде қажетті құрылыс материалы ретінде маңыздылығы қарастырылады. Әктас кенді емес құрылыс материалы ретінде Қазақстан үшін ішкі нарықты ғана емес, сыртқы сауданы да шикізатпен қамтамасыз ететін маңызды ресурс болып табылады. Алайда, әктас өндіру және оны әк немесе цементке өңдеу процесінде эксперименттік жұмыстарға сүйене отырып, парниктік газ болып табылатын көмірқышқыл газы (CO_2) сияқты шаң бөлшектері мен зиянды газдардың бөлінуі анықталды. Бұл шығарындылар атмосфералық ауаның сапасына, сондай-ақ адамдардың денсаулығына теріс әсер етеді тыныс алу органдарының ауруларына әкеледі. Әктасты күйдіру процесінде CO_2 және басқа ластанушы газдар шығарындыларын азайту үшін көміртегі шығарындыларын азайтуға бағытталған технологиялар енгізілуде, баламалы энергия көздерін пайдалану немесе көміртекті ұстау және сақтау.

Түйінді сөздер: әктас, кенді емес материал, экология, шығарындылар, микрокальцит, карьер, минерал.

Изучение воздействия процесса добычи и переработки известняка на экосистемы

Аннотация. В работе рассматривается значимость добываемого известняка южного региона нашей страны в качестве необходимого строительного материала на основе проведенных методов анализа. Известняк в качестве нерудного строительного материала является важным ресурсом для Казахстана, обеспечивая сырьем не только внутренний рынок, но и внешнюю торговлю. Однако, в процессе добычи известняка и его переработки в известь или цемент на основе экспериментальных работ установлено выделение пылистых частиц и вредных газов, таких как углекислый газ (CO_2), который является парниковым газом. Эти выбросы негативно влияют на качество атмосферного воздуха, а также на здоровье людей приводя к респираторным заболеваниям. Для уменьшения выбросов CO_2 и других загрязняющих газов в процессе обжига известняка внедряются технологии, направленные на снижение углеродных выбросов, с использованием альтернативных источников энергии или улавливания и хранения углерода.

Ключевые слова: известняк, нерудный материал, экология, выбросы, микрокальцит, карьер, минерал.

Introduction

There are several large lime deposits in Kazakhstan that meet the needs for construction and industrial materials such as lime, dolomite and other minerals. One of the most famous limestone mining areas is the South Kazakhstan region. In the Republic of Kazakhstan, lime deposits are particularly important: deposits in the South Kazakhstan region. one of the major regions where limestone is mined, used for the production of lime and other building materials.; deposits in the Karaganda region, significant reserves of limestone are also concentrated in this region, which is used in the metallurgical industry, as well as for the production of building materials [1]; deposits in the Pavlodar region, limestone quarries are located, which provide the region with industrial reserves of limestone. These deposits are important for Kazakhstan's industry, as lime is used in metallurgy, chemical industry, construction and agriculture.

The purpose of the study is to study the process of the lime industry's environmental impact on environmental components. The objectives of the study are: to determine the chemical and physical properties of the extracted limestone as a building material; to identify emerging environmental problems due to the extraction and production of a non-metallic natural resource.

The limestone of the Big Karatau ridge is one of the largest limestone deposits in Kazakhstan, located in the southeastern part of the country. The Big Karatau ridge is part of a geological structure rich in various minerals, including limestone, which is used in various industries. Features of limestones found in Big Karatau:

1. Quality and composition: Limestones are characterized by high strength and whiteness, which makes them suitable

for the production of building materials such as cement, lime, as well as for use in the chemical and metallurgical industries.

2. Geological significance: The limestones here were formed in different geological epochs and have different compositions, which may affect their use in industry. Limestones containing impurities of organic residues can be used for more specific purposes.

3. Mining: Limestone deposits are actively being developed and meet the needs of local businesses, as well as exports to neighboring countries. It is an important source of raw materials for cement, construction and other industries [2].

Thus, limestone from the Big Karatau ridge is an important resource for Kazakhstan, providing raw materials not only for the domestic market, but also for foreign trade. The chemical composition of limestones may vary depending on the deposit and type of limestone, but in general, limestones from domestic deposits contain the following components. Calcium oxide (CaO) is the main component of limestone, which makes up the bulk of its composition. Calcium in the form of calcium oxide (CaO) is a key element used for the production of lime and cement. Its content in limestones usually varies from 40% to 55%, depending on the deposit. Carbonates ($CaCO_3$) – limestones are predominantly composed of calcite ($CaCO_3$), which is a form of calcium carbonate. It can make up 80–90% of the rock composition. Magnesium oxide (MgO) – some types of limestones contain magnesium in the form of dolomite ($CaMg(CO_3)_2$). The magnesium content in Kazakhstan's limestones can vary from 1% to 10%, depending on geological conditions. Iron oxides (Fe_2O_3) – Iron in the form of oxides can be present in amounts up to 2–4%. It gives limestone a dark shade and can be used in the metallurgical

industry. Aluminum oxide (Al_2O_3) – Aluminum in the form of various compounds (alumina) is found in known rocks of Kazakhstan in small quantities (up to 1–2%). Silicates (SiO_2) – Silicate impurities such as quartz (SiO_2) can also be present in limestones, but usually in small amounts (up to 10%). Other elements: Limestones may contain phosphorus (P_2O_5), sodium (Na_2O), potassium (K_2O), as well as organic substances in small quantities. Thus, the chemical composition of Kazakhstan's limestones has a fairly wide range, which affects their use in various industries such as construction, metallurgy and the chemical industry [3].

Limestone mining usually takes place in an open-pit manner (quarries developed using blasting), which leads to significant changes in the landscape [4]. The mining process destroys natural ecosystems, destroys vegetation, and disrupts natural bodies of water [5]. Open pits can occupy large areas, leading to land degradation, especially if remediation activities are not carried out properly after the completion of mining. During the extraction of limestone and its processing into lime or cement, dusty particles (limestone dust) and harmful gases such as carbon dioxide (CO_2), which is a greenhouse gas, are released. Floating dust can negatively affect air quality, as well as the health of people working in such areas. Such pollution often leads to a deterioration in the health of local residents, including respiratory diseases [6].

Materials and Methods

Various methods were used to study limestones, which allowed us to obtain information about the composition, structure, physico-mechanical properties and other characteristics of these non-metallic rocks. X-ray fluorescence analysis (XFA) and X-ray diffraction (XD) are methods that have made it possible to study the crystalline structure of limestone and determine its mineralogical composition. This method has made it possible to accurately determine the content of various minerals such as calcite, dolomite, clay minerals, quartz, and others [7]. The analysis was carried out by a DRON-3 diffractometer. Chemical analysis determines the content of the main components of limestone, such as calcium (CaO), magnesium (MgO), carbon (CO_2), iron, aluminum and other elements. Geochemical analysis was also used, which includes the study of the distribution of chemical elements in limestones [8, 9]. It helps to understand the origin of the rock, as well as assess its suitability for various purposes (for example, for the production of cement or lime). According to the research topic, ecological methods were used in the study of limestones. They aim to assess their environmental impact and the impact of limestone extraction, processing and use on ecosystems. These methods include various approaches to study the effects on air, water, soil, and living organisms. In this study, the Gank-4 gas analyzer was used to measure the dust content, as well as emissions of pollutants such as carbon dioxide (CO_2), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO_2), hydrogen sulfide (H_2S) and other components that are released into the atmosphere during the extraction and processing of limestone.

Results

X-ray diffractometric analysis was performed on an automated diffractometer DRON-3 with $Cu_{K\alpha}$ – radiation, β – filter. Diffractogram shooting conditions: $U = 35$ кВ; $I = 20$ мА;

shooting θ - 2θ ; the detector 2 deg/min. X-ray phase analysis on a semi-quantitative basis was performed using diffractograms of powder samples using the method of equal weights and artificial mixtures. The quantitative ratios of the crystalline phases were determined. The diffractograms were interpreted using ICDD card file data: database of powder diffractometric data PDF 2 (Powder Diffraction File) Release 2022 and programs High Score Plus. The content was calculated for the main phases. Possible impurities, the identification of which cannot be unambiguous due to their low contents and the presence of only 1–2 diffraction reflections or poor crystallization. The experimental data are shown in tables 1–2 and in figure 1.

Table 1
Interplane distances and phase composition of the sample
Кесте 1

**Жазықтықаралық қашықтық және үлгінің
фазалық құрамы**

Таблица 1
**Межплоскостные расстояния и фазовый
состав образца**

d [Å]	I [%]	PDF Card number
3,85258	4,93	01-089-1304
3,35802	2,09	
3,03282	100,00	01-089-1304
2,84130	1,39	01-089-1304
2,49388	5,91	01-089-1304
2,28301	9,57	01-089-1304
2,09317	9,33	01-089-1304
1,91148	8,74	01-089-1304
1,87316	9,58	01-089-1304
1,62421	1,63	01-089-1304
1,60208	3,87	01-089-1304

Table 2
Results of semi-quantitative analysis of crystalline phases
Кесте 2

**Кристалдық фазалардың жартылай сандық
талдауының нәтижелері**

Таблица 2
**Результаты полуколичественного анализа
кристаллических фаз**

PDF Card number	Formula	The mineral	Concentration [%]
01-089-1304	$(Mg_{0.03}Ca_{0.97})(CO_3)$	Mg-containing calcide	100

Based on the experimental work carried out, it can be concluded that an admixture (< 1%) of helenite $Ca_2(Al_2SiO_7)$ is possible. It is usually found in sedimentary rocks and may be present as an admixture in limestones. Helenite occurs as glassy or translucent crystals, with a characteristic greenish-yellow hue, and is part of more complex aluminosilicate minerals [10].

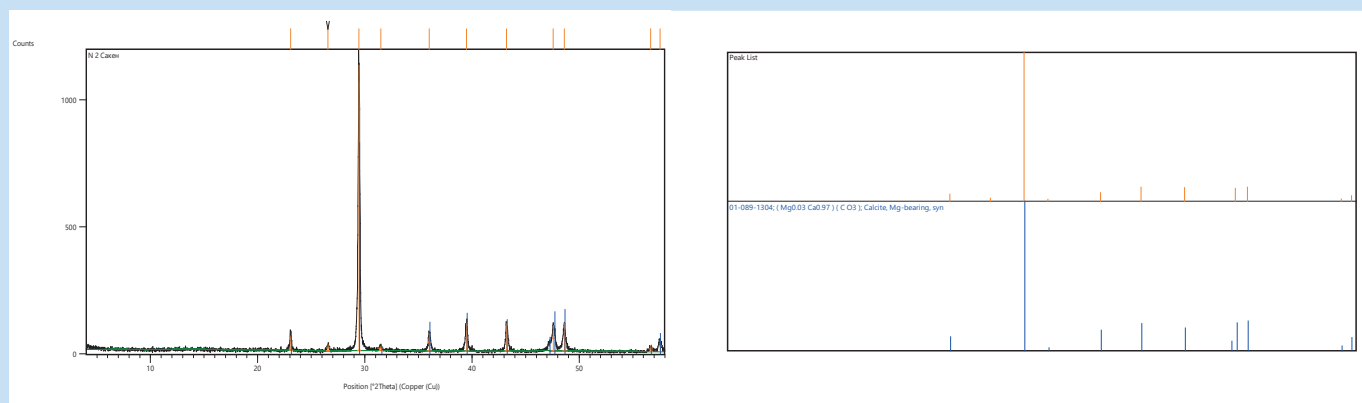


Figure 1. Diffractogram of the studied sample.
Сурет 1. Зерттелетін үлгінің дифрактограммасы.
Рис. 1. Дифрактограмма изучаемого образца.

When helenite is present in limestone, its role depends on the concentration and the specific conditions under which the limestone was formed. Next, a spectral analysis of limestone was performed for its applicability in the production of microcalcite (Tables 3–4).

The limestones also contained organic substances, such as remnants of vegetation or microscopic organisms (mollusk shells, corals). This makes limestone organogenic and affects its appearance and texture. The chemical composition of limestones can vary significantly depending on their origin and

Table 3
Indicators for the presence of chemical elements in the sample, %

Сынамада химиялық элементтердің көрсеткіштері, %

Показатели на наличие химических элементов в пробе, %

Кесте 3

Таблица 3

Spectrum	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Total
Spectrum 1	52,74	0,37	0,11	0,21	46,26	0,31	100,00
Spectrum 2	52,60	0,32	0,12	0,21	46,59	0,15	100,00
Spectrum 3	52,70	0,30	0,21	0,63	45,94	0,23	100,00
Average	52,68	0,33	0,15	0,35	46,26	0,23	100,00
Standard. deviation	0,07	0,04	0,05	0,24	0,33	0,08	
Max.	52,74	0,37	0,21	0,63	46,59	0,31	
Min.	52,60	0,30	0,11	0,21	45,94	0,15	

Table 4
Indicators for the presence of oxides by stoichiometry, %

Стехиометрия бойынша оксидтердің көрсеткіштері, %

Показатели на наличие оксидов по стехиометрии, %

Кесте 4

Таблица 4

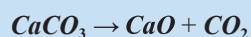
Spectrum	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO	Total
Spectrum 1	0,91	0,32	0,66	97,47	0,63	100,00
Spectrum 2	0,80	0,35	0,66	97,89	0,31	100,00
Spectrum 3	0,73	0,59	2,01	96,22	0,45	100,00
Average	0,81	0,42	1,11	97,19	0,46	100,00
Standard. deviation	0,09	0,15	0,78	0,87	0,16	
Max.	0,91	0,59	2,01	97,89	0,63	
Min.	0,73	0,32	0,66	96,22	0,31	

environmental conditions. However, in general, the main components of limestone are calcite (CaCO_3), as well as various impurities.

Discussion

The use of limestone for the production of building materials (such as cement, concrete and lime) It is accompanied by a number of environmental problems related to the extraction, processing and use of this natural resource. Thus, although limestone is an important building material, its extraction and processing can have a significant impact on the environment, which requires taking measures to minimize damage.

Using the Gank-4 gas analyzer, it was found that limestone mining, as well as processing of many other natural resources, generates emissions into the atmosphere, which can have a significant impact on the environment (figure 2). The following are the main emissions that were generated during the extraction and processing of limestone. Limestone dust is one of the main emissions that occur during the extraction, crushing and transportation of limestone. The dust particles contain fine calcite (CaCO_3) particles, as well as other impurities such as clay minerals and quartz. Dust causes health problems for workers, as well as worsens the air quality in the surrounding areas. It penetrates the lungs and causes respiratory diseases, especially if the dust concentration is high. Dust also settles on vegetation and bodies of water, which affects the ecosystem. Carbon dioxide CO_2 is also an emission from this production. Limestone itself (CaCO_3) is not a source of carbon dioxide during its extraction, CO_2 is released during limestone firing. Calcining limestone for the production of lime or cement requires high temperatures at which calcite decomposes:



Thus, the main source of CO_2 is the limestone refining process, not its extraction. But CO_2 emissions from the combustion of fuels used to heat furnaces are also significant. In addition, NO_x nitrogen oxides are released during the combustion of fuels during the extraction and processing of limestone. Nitrogen oxides are formed during high-temperature combustion processes, such as calcining limestone in furnaces for the production of lime or cement. These substances negatively affect air quality, contributing to the formation of acid rain and polluting water bodies. Also, sulfur dioxide SO_2 is released during the processing of limestone if it contains sulfates such as gypsum (CaSO_4). Although SO_2 is mainly released during

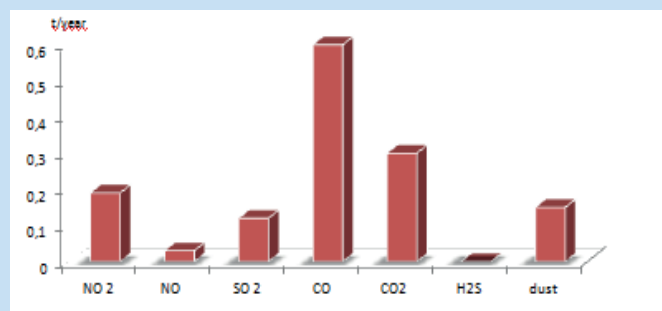


Figure 2. Emission of pollutants into the atmosphere.

Сурет 2. Атмосфераға ластаушы заттардың шығарылуы.

Рис. 2. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

the combustion of fossil fuels, in some cases, when sulfur impurities are present in limestone, it can also be released.

Other industrial gases, such as hydrocarbons, including methane (CH_4), may be released during limestone mining if mining occurs in areas where there are coal or gas layers. This is due to the peculiarities of the geological composition of the deposits. The limestone mining process, especially when using heavy machinery and vehicles for transportation, emits carbon dioxide, nitrogen oxides, hydrocarbons, and dust particles. These emissions come from burning fuels (diesel, gasoline) and using equipment. In some cases, when trace amounts of toxic metals are present in limestone, such as lead (Pb), cadmium (Cd), or arsenic (As), its extraction and processing generates emissions with an admixture of these substances. Although this is rare, such emissions can pose an environmental threat to soil, water bodies, flora and fauna.

Conclusions

Limestone mining and processing can lead to emissions of various pollutants, including dust, carbon dioxide, nitrogen oxides, and sulfur dioxide. To minimize the environmental impact, it is important to introduce environmentally friendly technologies, regularly monitor emissions and take measures to reduce them. In order to reduce emissions of CO_2 and other polluting gases during limestone firing, technologies aimed at reducing carbon emissions are being introduced, for example, using alternative energy sources or carbon capture and storage. The introduction of cleaner technologies in the mining process, such as the use of low-sulfur fuels, improved crushing and transportation methods, can also reduce pollutant emissions.

REFERENCES

1. *Stroitel'nye materialy na osnove izvestkovoy pyli i melкодисперсного известняка [Building materials based on lime dust and fine limestone]*, N.V. Lyubomirsky [et al.], *Stroitel'stvo i rekonstrukcija [Construction and reconstruction]*. 2020. No. 4. 112–121 pp. (in Russian)
2. Reinaldy P. (23 may 2023). *Discovering water relations using hydrochemistry, isotopic data, and mass-balance calculation approaches to reduce the risk of impacts from limestone mining. Groundwater for Sustainable Development*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X23000498> (in English)
3. *Effects of Limestone Mining on Deforestation and Land Degradation in Mbeya Region, Tanzania* / J.E. Ringo [et al.] // *International Journal of Modern Social Sciences*. 2016. V. 5 (2). 117–132 pp. (in English)

4. *Assessment of the multilevel correlations of the pollution indicators and lithological vulnerabilities in a passive limestone mining and cement producing environment / O.D. Akinyemi [et al.] // Environ Monit Assess. 2023. V. 195. P. 375 (in English)*
5. *Lamare R.E., Singh O.P. Changes in soil quality in limestone mining area of Meghalaya, India // Nature Environment and Pollution Technology. 2017. V. 16 (2). 545–550 pp. (in English)*
6. *Sutrisno S., Azhari A. The Study of Socioeconomic and Environmental Aspects of Dolomite Limestone Mining in Tuban Regency // Journal of Socioeconomics and Development. 2020. V. 3 (1). P. 63 (in English)*
7. *Faizah N. Study of The Impact of Limestone Mining on Environmental Damage in Klapanunggal Village of Bogor Regency // Geografika Journal. 2023. V. 4. No. 1. 58–66 pp. (in English)*
8. *Rahmi H., Susetyo D., Juniah R. Utilization Study of Void Mine For Sustainable Environment of The Limestone Mining Sector at PT Semen Baturaja (Persero) Tbk // Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability. 2019. V. 3 (2). 54–59 pp. (in English)*
9. *Atima D., Suthirat K. Estimated Greenhouse Gases Emissions from Mobile and Stationary Sources in the Limestone and Basalt Rock Mining in Thailand // American Journal of Environmental Sciences. 2016. V. 12 (5). 334–340 pp. (in English)*
10. *Kaldybaev N.A. Tehnologija pererabotki melkodispersnyh othodov izvestnjaka-rakushechnika [Technology of processing fine limestone shell rock waste], Innovacionnye tehnologii obogashheniya mineral'nogo i tehnogennogo syr'ja [Innovative technologies of mineral and man-made raw materials processing]. 2017. 54–60 pp. (in Russian)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Әк шаңы мен ұсақ әктас негізіндегі құрылыс материалдары / Н.В. Любомирский [және т. б.] // Құрылыс және қайта құру. 2020. №. 4. Б. 112–121 (орыс тілінде)
2. Рейналди П. (2023 жылғы 23 мамыр). Әктас өндіру кезінде әсер ету қаупін азайту үшін гидрохимияны, изотоптық деректерді және масса балансын есептеу тәсілдерін қолдана отырып, су ресурстары арасындағы байланысты анықтау. Тұрақты даму үшін жер асты сулары. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X23000498> (ағылшын тілінде)
3. Танзанияның Мбея аймағындағы ормандардың жойылуына және жердің деградациясына әктас өндірудің әсері / Дж.Э. Ринго [және т. б.] // International Journal of Modern Social Sciences. 2016. Т. 5 (2). Б. 117–132 (ағылшын тілінде)
4. Пассивті әктас өндіру және цемент өндіру жағдайындағы ластану көрсеткіштері мен литологиялық осалдықтың көп деңгейлі корреляциясын бағалау / Акинъеми О.Д. [және т. б.] // Қоршаған ортаның жай-күйін бағалау. 2023. Т. 195. Б. 375 (ағылшын тілінде)
5. Ламаре Р.Е., Сингх О.П. Мегалаядағы әктас өндіретін аймақтағы топырақ сапасының өзгеруі, Үндістан // Табиғат, қоршаған орта және ластану технологиялары. 2017. Т. 16 (2). Б. 545–550 (ағылшын тілінде)
6. Сутрисно С., Ажари А. Тубан провинциясындағы доломитті әктас өндірудің әлеуметтік-экономикалық және экологиялық аспектілерін зерттеу // Әлеуметтік-экономикалық ғылым және даму журналы. 2020. Т. 3 (1). Б. 63 (ағылшын тілінде)
7. Файза Н. Богор регрессиясының Клапанунгал ауылындағы әктас өндірісінің қоршаған ортаға тигізетін әсерін зерттеу // География журналы. 2023. Т. 4. № 1. Б. 58–66 (ағылшын тілінде)
8. Рахми Х., Сюзетьо Д., Джуния Р. Батураджа (Персеро) ТБК Семен кенішіндегі әктас өндіру секторында тұрақты қоршаған ортаны қорғауды қамтамасыз ету үшін бос кенішті пайдалануды зерттеу // Индонезияның экологиялық менеджмент және тұрақты даму журналы. 2019. Т. 3 (2). Б. 54–59 (ағылшын тілінде)
9. Аtima Д., Сутират К. Таиландтағы әктас пен базальт өндірісіндегі жылжымалы және стационарлық көздерден парниктік газдар шығарындыларын бағалау // Американдық экологиялық ғылымдар журналы. 2016. Т. 12 (5). Б. 334–340 (ағылшын тілінде)
10. Қалдыбаев Н.А. Әктас-қабықтың ұсақ дисперсті қалдықтарын өңдеу технологиясы // Минералдық және техногендік шикізатты байытудың инновациялық технологиялары. 2017. Б. 54–60 (орыс тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительные материалы на основе известковой пыли и мелкодисперсного известняка / Н.В. Любомирский [и др.] // Строительство и реконструкция. 2020. № 4. С. 112–121 (на русском языке)
2. Рейналди П. (23 мая 2023 г.) Выявление взаимосвязей между водными ресурсами с использованием гидрохимии, изотопных данных и подходов к расчету баланса массы для снижения риска

воздействия при добыче известняка. Подземные воды для устойчивого развития.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X23000498> (на английском языке)

3. Влияние добычи известняка на обезлесение и деградацию земель в регионе Мбея, Танзания / Дж.Э. Ринго [и др.] // *International Journal of Modern Social Sciences*. 2016. Т. 5 (2). С. 117–132 (на английском языке)
4. Акинъеми О.Д., Казим С., Алатис О. Оценка многоуровневой корреляции показателей загрязнения и литологической уязвимости в условиях пассивной добычи известняка и производства цемента // *Оценка состояния окружающей среды*. 2023. Т. 195. С. 375 (на английском языке)
5. Ламаре Р.Э., Сингх О.П. Изменения качества почвы в районе добычи известняка в Мегхалае, Индия // *Природа, окружающая среда и технологии загрязнения*. 2017. Т. 16 (2). С. 545–550 (на английском языке)
6. Сутрисно С., Ажари А. Изучение социально-экономических и экологических аспектов добычи доломитового известняка в провинции Тубан // *Журнал социально-экономической науки и развития*. 2020. Т. 3 (1). С. 63 (на английском языке)
7. Файза Н. Исследование влияния добычи известняка на ущерб окружающей среде в деревне Клапанунггал Богорского регентства // *Журнал «География»*. 2023. Т. 4. № 1. С. 58–66 (на английском языке)
8. Рахми Х., Сусетью Д., Джуниа Р. Исследование использования пустотного рудника для обеспечения устойчивой охраны окружающей среды в секторе добычи известняка на руднике Семен Батураджа (Персеро) ТбК // *Индонезийский журнал экологического менеджмента и устойчивого развития*. 2019. Т. 3 (2). С. 54–59 (на английском языке)
9. Атима Д., Сутират К. Оценка выбросов парниковых газов из мобильных и стационарных источников при добыче известняка и базальта в Таиланде // *American Journal of Environmental Sciences*. 2016. Т. 12 (5). С. 334–340 (на английском языке)
10. Калдыбаев Н.А. Технология переработки мелкодисперсных отходов известняка-ракушечника // *Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья*. 2017. С. 54–60 (на русском языке)

Information about the authors:

Shalabaeva G., Candidate of Technical Sciences, acting associate professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), gulshat.shalabaeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3605-4708>

Toychibekova G., Ph.D, acting associate professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3575-3021>

Kurbaniyazov S., c.g-m.s., acting associate professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), saken.kurbaniyazov@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-0875-2771>

Damenova A., c.p.s., acting associate professor of the Department of History and Geography in Education, Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan), Aigul_damenova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8140-8056>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шалабаева Г., «Экология және химия» кафедрасының доцент м. а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Тойчибекова Г., «Экология және химия» кафедрасының доцент м. а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Құрбаниязов С., «Экология және химия» кафедрасының доцентінің м. а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Даменова А., «Білім берудегі Тарих және география» кафедрасының доцентінің м. а., Мұхаммед Хайдар Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Шалабаева Г., и.о. доцента кафедры «Экология и химия», Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Тойчибекова Г., и.о. доцента кафедры «Экология и химия», Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Курбаниязов С., и.о. доцента кафедры «Экология и химия», Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Даменова А., и.о. доцента кафедры «История и география в образовании», Таразский региональный университет имени Мухаммеда Хайдара Дулати (г. Тараз, Казахстан)



13-я Казахстанская Международная Конференция и Выставка
ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

28-30 мая 2025

Астана, Казахстан



ОРГАНИЗАТОРЫ

тел.: +7 727 258 34 34;

Выставка: Kulyash.Ablak@iteca.events

Конференция: Olga.Remorenko@iteca.events

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАРТНЕР



Министерство труда и социальной защиты населения
Республики Казахстан

Код МРНТИ 87.21.07

Қ.Т. Абдраимова, *Г.Ж. Турметова, Э.К. Ибрагимова, Д.К. Сунакбаева
Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті
(Түркістан қ., Қазақстан)

ФОСФОР ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ НЕГІЗІНДЕ ТЕХНОГЕНДІ ЛАСТАНҒАН ТОПЫРАҚТАРДЫ МЕЛИОРАЦИЯЛАУ

Андатпа. Фосфор қосылыстарының көмегімен техногендік ластанған топырақты мелиорациялау антропогендік белсенділік нәтижесінде бұзылған топырақ құнарлылығын қалпына келтірудің тиімді әдісі болып табылады. Топырақтың техногендік ластануы экожүйеге теріс әсер ететін ауыр металдармен, мұнай өнімдерімен, пестицидтермен және басқа химиялық заттармен ластануды қамтиды. Мұндай топырақтың сапасын жақсартудың перспективалық тәсілдерінің бірі – улы заттарды байланыстыруға қабілетті, олардың биожетімділігін төмендететін және топырақ жамылғысын қалпына келтіретін дәрежеде әсер ететін фосфор қосылыстарын қолдану. Фосфор қосылыстарын қолдану топырақ құрылымын жақсартуға, оның ылғал сыйымдылығын және қоректік заттарды сақтау қабілетін арттыруға көмектеседі, бұл техногендік ластануға ұшыраған аумақтардың экологиялық тұрақтылығын қалпына келтіруге ықпал етеді. Фосфорды пайдалана отырып, техногендік ластанған топырақты мелиорациялау саласындағы зерттеулер қоршаған ортаның құрамдас бөліктерінің техногендік әсерлерге төзімділігін арттыру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Түінді сөздер: мелиорация, экологиялық мәселе, топырақ, ауыр металдар, фосфор, бұрғы, сынама.

Reclamation of technogenically contaminated soils using phosphorus compounds

Abstract. Reclamation of technogenically polluted soils with the help of phosphorous compounds is an effective method of restoring soil fertility, disrupted as a result of anthropogenic activities. Man-made soil pollution includes pollution by heavy metals, petroleum products, pesticides and other chemicals that have a negative impact on the ecosystem. One of the promising approaches to improving the quality of such soils is the use of phosphorous compounds, which are capable of binding toxic substances, reducing their bioavailability and having a restorative effect on the soil cover. The use of phosphorous compounds helps to improve the soil structure, increase its moisture capacity and ability to retain nutrients, which contributes to the restoration of environmental sustainability of territories subject to man-made pollution. Research in the field of reclamation of technogenically polluted soils using phosphorus opens up new opportunities for increasing the resistance of environmental components to man-made impacts.

Key words: reclamation, environmental problem, soil, heavy metals, phosphorus, drill, sample.

Мелиорация техногенно загрязненных почв с помощью фосфорных соединений

Аннотация. Мелиорация техногенно загрязненных почв с помощью фосфорных соединений представляет собой эффективный метод восстановления почвенного плодородия, нарушенного в результате антропогенной деятельности. Техногенное загрязнение почв включает в себя загрязнение тяжелыми металлами, нефтепродуктами, пестицидами и другими химическими веществами, которые оказывают негативное воздействие на экосистему. Одним из перспективных подходов к улучшению качества таких почв является использование фосфорных соединений, которые способны связывать токсичные вещества, снижая их биодоступность и оказывая восстановительное воздействие на почвенный покров. Применение фосфорных соединений способствует улучшению структуры почвы, повышению ее влагоемкости и способности удерживать питательные вещества, что способствует восстановлению экологической устойчивости территорий, подверженных техногенному загрязнению. Исследования в области мелиорации техногенно загрязненных почв с использованием фосфора открывают новые возможности для повышения устойчивости компонентов окружающей среды к техногенным воздействиям.

Ключевые слова: мелиорация, экологическая проблема, почва, тяжелые металлы, фосфор, бур, проба.

Кіріспе

Еліміздің оңтүстік өңірінде, соның ішінде Түркістан облысында өндірістік кәсіпорындардың іске қосылуы күн сайын артып келе жатыр. Шымкент қаласында «Южполиметалл» АҚ маңында құрамында ауыр металдар кездесетін қалдықтар тасталынған. Өнеркәсіптің технологиялық регламентіне сәйкес, әрбір кезеңдік сатылардан кейін ауыр металл иондары және оған жанама, қосымша өнімдердің түрлері бөлінеді. Сондай-ақ, аталған тізбектің технологиялық сатыларында топырақ жамылғысының ауыр металл қосылыстарымен ластану ықтималдылығы өте жоғары. Бүгінгі таңда, облыс бойынша жүздеген гектар көлемдегі аймақтар жоғарыда аталған себептермен ластануда. Мысал ретінде қорғасынды қолданып, оның ағаш өсімдіктеріне енуі – атмосфера немесе топырақ арқылы осы элементтің жинақталу деңгейімен анықталады [1].

Оңтүстік Қазақстан облысы жағдайында әртүрлі табиғаттағы экотоксиканттардың (ауыр металдармен ластану) созылмалы әсерінен топырақ пен топырақтың ферментативті белсенділігінің өзгеруін (гидролитикалық және тотықсыздандырғыш ферменттер) зерттеу қоғамның өзекті мәселелерінің бірі болып калуда. Топырақ ферменттерінің белсенділігі экотоксиканттардың табиғаты мен концентрациясына (дозасына) байланысты спецификалық және спецификалық емес өзгертінді дәлелденді, олар топырақ ферменттеріне қатысты ингибиторлар да, белсендіргіштер де бола алады. Осымен бірге, Республиканың кең байтақ

жері физикалық географиялық жағдайлардың алуан түрлілігі ендік зоналылығының көрінісін анықтап топырақ жамылғысының аймақтылығына сәйкес топырақтардың ферментативті активтілігін қалыптастыруды айқындайды. Аймақтық бірқатар жазық топырақтарда белсенділік көрсеткіштерінің ең жоғары мәндері бар каталазаның қалыпты активтілігінің негізінде гидролаза (инвертаза, уреаза, каталаза) активтілігі фонында қара топырақтарда байқалады. Оларда топырақтың ауа трәтібінің ең жоғары қарқындылығы да белгіленген. Арасында қара топырақтардың кіші аумақтарының ішінде ең энзимді белсенділері қарапайым қара топырақтар, аз мөлшерде – оңтүстік қара топырақтар [2].

Еліміздің аймақтарын тұтастай алғанда ластауыштардың тұрақты көздерінен қоршаған ортаға жылына 4,0 млн.т түрлі ластауыш және улы заттар тасталады. Аталған ластауыштардың арасында қорғасын мен қалайының қосылыстары 2,2, мыс тотықтары 1,3, 11,0 мың т жуық қара күйе және мыңдаған тонна түрлі тастанды газдар. Топырақ қабатында таралған ауыр металдардың мүмкін шектік зиянсыз мөлшері (мг/кг): хром – 0,06; қалайы – 47; мыс – 38–40; фтор – 205; марганец – 1450; молибден – 5; қорғасын – 20; мырыш – 155; сынап – 2; қалайы – 2; сурьма – 5; кадмий – 5; никель – 45; кобальт – 50; бор – 25 [3].

Ауыр металдарды жоюдың химиялық өңдеу, физикалық жою сияқты дәстүрлі тәсілдері қаржылық тұрғыдан сын

көтермейді және қоршаған табиғи орта компоненттеріне негативті әсер етуі мүмкін. Осыған байланысты, ластанған кешендерден ауыр металдарды жою немесе детоксикациялау мақсатында өсімдіктер мен микроағзаларды қолдану топырақтың ремедиация әдісінің тиімділігін дәлелдеп отыр. Бұл әдіс экономикалық тұрғыдан ғана емес, қоршаған табиғи ортаға қатысты ластану дәрежені біршама төмендетуге ықпал етеді [4].

Топырақтардағы ауыр металдардың кларктері жоғарылау үрдісіне ие, ал қорғасынға қатысты бірқатар деңгейге жоғары. Тек автокөліктердің пайдаланылған газдарының салдарынан жер бетіне металдың 180–260 мың т бөлінеді, мырыш пен қорғасынның техногенді мөлшерлері жылына 1 км² жерге ондаған кг-ды құрайды. Алайда, топырақтағы Pb геобиологиялық қол жетімділігін ескеретін топырақ сапасының экологиялық стандарттары әлі жасалмаған. Oorts т. б. ғалымдар жауын құрттарындағы уыттылығы мен ұзақ мерзімді қол жетімділігінің нақты зерттеу негізінде топырақ ағзалары мен далалық компиляция мәліметтері үшін Pb стандарттарын ұсынды. Өсімдіктер үшін топырақтың тиімді катионалмасу сыйымдылығының төмендеуі салдарынан Pb биоаккумуляциясы жоғарылайды, нәтижесінде топырақтар арасындағы тиімді катионалмасу вариацияларының мәнін қалыптандыру үшін модельдер ұсынылған [5].

Қоршаған ортадағы Pb концентрациясының жоғарылауы адам денсаулығы мен жануарларға да белгілі қауіп көздері болып есептеледі. Қазіргі уақытта бірқатар элементтердің топырақтағы, өсімдіктердегі, азықтық жемшөптердегі, азық-түліктердегі рұқсат етілген мөлшерлері белгіленген. Топырақтың ластайтын ауыр металдар ауылшаруашылық дақылдарының өнімділігіне зиян шектіреді, қоректік тізбекті өзгертіп, түптеп келгенде адамның денсаулығына, геожүйелердегі зат айналымына қауіп төндіреді. Топырақта үнемі жинақталатын ауыр металдар өсімдіктердің ұлпаларымен сіңіріліп, биосфераға өтіп, қоректік тізбектің трофикалық деңгейлеріне жинақталады [6].

Pb жетіспеушілігінің, аз мөлшерінің ағзаларға оң әсерінің себептері жеткіліксіз зерттелген, өйткені оның метаболизм процесстеріндегі әсер ететін нүктелері белгісіз. Ауыр металдарды өсімдіктердің көмегімен заласыздандыратын тиімділігін арттыру мақсатында дәстүрлі фиторемедиация әдісі арқылы ірі масштабты қолдану тұрғысынан бірқатар шектеулер қояды. Бұл әдіс әрі үнемді, тиімді және керемет кең қолданыстағы әдіс ретінде экологиялық тұрғыдан таза болып есептеледі. Сонымен қатар, металдардың жаңа гипераккумуляторлары зерттеліп, қолданылуда [7].

Мырышты қосылыстарды енгізу өсімдіктердің қоректік заттарды пайдалануын жақсартуға ықпал етеді де, азот пен фосфордың топыраққа қайтуын азайтып, өсімдіктердің өнімділігін жоғарылатады. Қоршаған ортаның мырышпен ластануы жағдайында өсімдіктердің ауыр металдарды байланыстыруы мен олардың кері ағысына әсер ететін, өсімдіктердің төзімділік механизмінде микориза мен субжасушалық қабілеттілікке ерекше зейін қойылады. *Dichapetalum gelonioides*, *Thlaspi tatrense*, *Cardaminopsis halleri*, *Viola calaminaria* мен *Eleocharis acicularis* өсімдіктерінде мырыштың жинақталуы 10 000 мг/кг артық мөлшерді құрайды, сондықтан осы өсімдіктер қоршаған ортадан мырышты жою мақ-

сатында супераккумулятор ретінде рөл атқаруы нәтижесінде экологиялық тәуекелдер мен денсаулыққа қатысты жағымсыз әсерлерді төмендетуге мүмкіндік береді [8].

Топырақтың болмашы өзгерістеріне жауап беретін болғандықтан ферменттік активтілік тиімді индикатор болып табылады. A.Kuzmanović және т.б. қышқыл және сілтілі фосфотаза, глюкозидаза, дегидрогеназа мен каталазаның активтілігін зерттеу нәтижелері қара, сортаң топырақ типтерінде әртүрлі ферментативті белсенділікке ие екендігі туралы қорытынды жасаған. Сортаң топырақта – сілтілі фосфотаза, қара топырақта – дегидрогеназа активтілік таңытқан [9].

Топырақтың органикалық фосфоры өсімдіктер үшін топырақта жинақталған микроағзалардың, өсімдік тамырларының жасушаішілік фосфогидролазаның және ферменттердің минерализациянынан кейін сіңімді болады. Әртүрлі топырақтарда фосфатазалық белсенділік әркелкі орын алады. Торфты-батпақты топырақтар жоғары фосфатазалық белсенділікке ие, әсіресе фосфатазаның белсенділігі өсімдіктердің ризосферасында жоғары. Топырақ жамылғысы жағдайында фосфотаза ферментінің активтілігі органикалық көздерден фосфорды сіңіруде маңызды рөл атқарады да, әрі қарай зерттеулер азық-түлік өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін оның сандық бағалауына бағытталуы қажет [10].

Өсімдіктердің тамыр жүйесінің әрқилы стратегиясы түрлердің өзара тіршілік ету модельдерін айқындайды. Алайда, тамырлардың тамыр фосфотазасының активтілігі секілді физиологиялық белгілері өсімдіктердің фосфорды сіңіруіне әсер етеді. Бұл жағдай бәлкім тамырлардың жасушаішілік фосфатазасының әсерімен түсіндірілсе керек [11].

Топырақтың экологиялық ахуалын бақылау және оларды қазіргі жағдай бойынша ластану дәрежесін бағалау үшін қажет. Горизонт бойынша топырақтың морфологиялық сипаттамасы, гранулометриялық құрамы, топырақтың физика-химиялық қасиеттері және мұнай өнімдерінің құрамы зерттелген [12].

Материалдар мен әдістер

Гидролитикалық және тотығу-тотықсыздану ферменттерінің белсенділігі, соның ішінде гидролитикалық ферменттерден келесі ферменттер зерттелді:

топырақтың азотсыз органикалық қосылыстарының ыдырауын катализдейтін инвертаза (КФ 3.2.1.26);

топырақтағы құрамында азоты бар органикалық қосылыстарды ыдырататын уреаз (КФ 1.11.16);

топырақтағы фосфорорганикалық қосылыстарды ыдырататын фосфатаза (КФ 3.1.3.1-2).

тотығу-тотықсыздану ферменттердің тобынан каталаза (КФ 1.11.1.6), пероксидаза (КФ 1.11.1.7) және полифенолоксидазаның (КФ 1.10.3.1) белсенділігі анықталды.

Далалық және кіші сынама алаңдағы тәжірибеде ФМБ-нің (фосфорды минералдайтын қосылыс) топырақ ферменттерінің белсенділігіне әсері зерттелді.

Нәтижелер және талдау

Алынған мәліметтердің талдауы топырақ ферменттерінің жинақталуында маусымдық кезеңділіктің бар екендігін көрсетеді. 1-кестеде сұр топырақтың құм ебелек өсім-

Кесте 1

Құм ебелек – *C. Arenarius* өсімдігі өсірілген сұр топырақтағы ферментативтік белсенділік динамикасына ФМБ қосылыстарының әсері (кіші сынама алаңды далалық тәжірибе, 2020–2022 жж. бойынша орташа мәліметтер) (фон көң)

Table 1

The effect of PBF on the dynamics of enzymatic activity in the cultivation of *C. Arenarius* (field research on small sample areas, average for 2020–2022)

Таблица 1

Влияние ФМБ на динамику ферментативной активности при выращивании песчаного рогака – *C. Arenarius* (полевые исследования на малых пробных площадях, средний показатель за 2020–2022 гг.)

Тәжірибе нұсқасы	Құм ебелектің вегетация сатылары			
	2-4 нағыз жапырақтар	Шанақтану	Жеміс салу	Пісіп-жетілу
Фосфатазаның белсенділігі (P_2O_5 мг / 1гр топыраққа)				
1.Бақылау	0,043±0,002	0,023±0,001	0,060±0,004	0,070±0,005
2.ФМБ тәжірибе	0,050±0,003	0,068±0,009	0,075±0,006	0,097±0,007
Каталазаның белсенділігі (O_2 см ³ / 1 гр топыраққа)				
1.Бақылау	1,59±0,082	0,64±0,040	1±0,053	1,55±0,081
2.ФМБ тәжірибе	1,81±0,094	1,26±0,066	1,92±0,101	1,73±0,089
Уреазаның белсенділігі ($N-NH_2$ мг / 5 гр топыраққа)				
1.бақылау	0,32±0,020	0,28±0,088	0,35±0,023	0,73±0,047
2.ФМБ тәжірибе	1,85±0,102	1,01±0,057	0,935±0,059	1,29±0,089
Инвертазаның белсенділігі (глюкозаның мг / 1 гр топыраққа)				
1.Бақылау	0,795±0,051	0,630±0,041	1,908±0,118	0,954±0,064
2.ФМБ тәжірибе	2,544±0,159	1,01±0,068	2,226±0,140	1,590±0,071
Пероксидазаның белсенділігі (пурпургаляиннің мг/ 100 гр топыраққа)				
1.Бақылау	1,32±0,085	2,53±0,158	5,23±0,376	5,90±0,364
2.ФМБ тәжірибе	2,60±0,163	4,23±0,260	6,50±0,410	6,48±0,402
Полифенолоксидазаның белсенділігі (пурпургаляиннің мг/ 100 гр топыраққа)				
1.Бақылау	0,54±0,035	2,80±0,175	5,40±0,338	4,23±0,266
2.ФМБ тәжірибе	2,46±0,154	4,46±0,275	7,90±0,637	6,30±0,449

дігінің динамикасы бойынша ферменттік белсенділіктің мәліметтеріне сәйкес вегетациялық кезең бойы ферменттердің көп жинақталуы ФМБ қосылыстарының нұсқасында байқалған.

Барлық зерттелген ферменттер ішінде маусымдық динамикада келесі жағдай жалпы деп қарастырылды: ең көп жинақталуы мамыр айында – 3–4-ші нағыз жапырақтардың пайда болу сатысында байқалды. Күзге қарай ферментативті процесстердің энергиясы төмендеді.

2-кестеде ФМБ қосылысының әсерінен топырақтың ферментативтік белсенділігінің құм ебелек өсімдігінің вегетациялық кезең бойынша орташа мәліметтері берілген.

Келтірілген мәліметтер ФМБ қолданудың зерттелген ферменттердің белсенділігін жоғарылататынын көрсетті.

Осылай, тәжірибелік нұсқадағы топырақтың фосфатазалық белсенділігі вегетация сатылары бойынша ФМБ-мен тәжірибеде бастапқы топырақпен салыстырғанда 2 есеге жоғары және органикалық тыңайтқыштағы (көң) бақылаумен салыстырғанда 1,5 есеге жоғары болды, бұл ФМБ енгізу фосфатазалық белсенділікті жоғарылататынын білдіреді.

Каталазаның белсенділігі бастапқы топыраққа қарағанда 1,7 есеге жоғарылады. Уреазалық белсенділік ФМБ қолданғанда бақылаумен салыстырғанда (көң) 3 және бастапқы топырақпен салыстырғанда 12,5 есеге жоғары болды. Инвертазалық белсенділік ФМБ бірге тәжірибелік нұсқада бақылауға қарағанда (көң) 1,8, аммофос бақылаумен салыстырғанда 3,5 және бастапқы топыраққа қарағанда 4 есеге жоғары.

Топырақтың фосфатазалық белсенділігінің қалыптасуына фосфордың негізгі органикалық қосылыстары жататын қарашіріктің мөлшері әсерін тигізеді. Пероксидаза мен полифенолоксидазаның қарашірік заттарының синтезі мен минерализациясындағы ролі ескеріле отырып, топырақтағы осы ферменттердің белсенділігіне ФМБ әсері зерттеліп, олардың сұр топырақтардағы қарашіріктің түзілу процесстеріне жағымды әсер ететіні айқындалды (кесте 3). Қарашірік заттарының синтез процесстері олардың ыдырау процесстерінен басым болды, қарашіріктену коэффициенті ФМБ нұсқасында 0,54–8,83 мг/пурпургаляин/100гр топыраққа жоғарылады.

Кесте 2

Құм ебелек – *C. Arenarius* өсімдігінің тұқымдарының биологиялық белсенділігіне ФМБ қосылыстарының әсері (вегетация кезеңдері бойынша орташа мәліметтер)

Table 2

The effect of PBF on the biological activity of the sand hornbill seeds – *C. Arenarius* (average values for the stages of vegetation)

Таблица 2

Влияние ФМБ соединений на биологическую активность посева рогаца песчаного – *C. Arenarius* (средние показатели по стадиям вегетации)

Тәжірибе нұсқасы	Фосфатаза	Каталаза	Уреаза	Инвертаза	Пероксидаза	Полифенол-оксидаза	CO ₂ бөліну қарқындылығы
Бастапқы топырақ	0,018±0,002	0,98±0,064	0,073±0,014	0,477±0,029	6,5±0,379	4,56±0,286	30±1,54
Бақылау – көң	0,049±0,007	0,98±0,068	0,402±0,025	1,070±0,067	3,79±0,234	3,24±0,202	59,75±2,65
Тәжірибе – көң + ФМБ	0,073±0,011	1,68±0,104	1,272±0,079	1,987±0,123	4,70±0,289	5,28±0,326	83,25±3,74

Кесте 3

Пероксидаза, полифенолоксидаза ферменттеріне және қарашіріктену коэффициентіне ФМБ әсері (мг/пурпургаллиннің / 100 гр топыраққа)

Table 3

The effect of PBF on the enzymes peroxidase, polyphenol oxidase and humification coefficient (per 100 g/soil mg/purpurgalline)

Таблица 3

Влияние ФМБ соединений на ферменты пероксидаза, полифенолоксидаза и коэффициент гумификации (на 100 гр/почвы мг/пурпургаллина)

Тәжірибе нұсқасы	Құм ебелектің вегетация сатылары			
	2-4 нағыз жапырақтар	Шанақтану	Жеміс салу	Пісіп-жетілу
Пероксидаза				
1.Бақылау	1,32±0,081	2,53±0,155	8,50±0,56	5,90±0,37
2.ФМБ тәжірибе	2,60±0,161	4,23±0,258	5,23±0,33	6,48±0,41
Полифенолоксидаза				
1.Бақылау	0,54±0,035	2,8±0,175	5,40±0,333	4,23±0,26
2.ФМБ тәжірибе	2,46±0,152	3,46±0,214	7,60±0,467	5,30±0,32
Қарашіріктену коэффициенті				
1.Бақылау	0,40±0,026	1,10±0,071	0,63±0,041	0,70±0,045
2.ФМБ тәжірибе	0,94±0,061	0,8±0,052	1,46±0,095	0,82±0,054

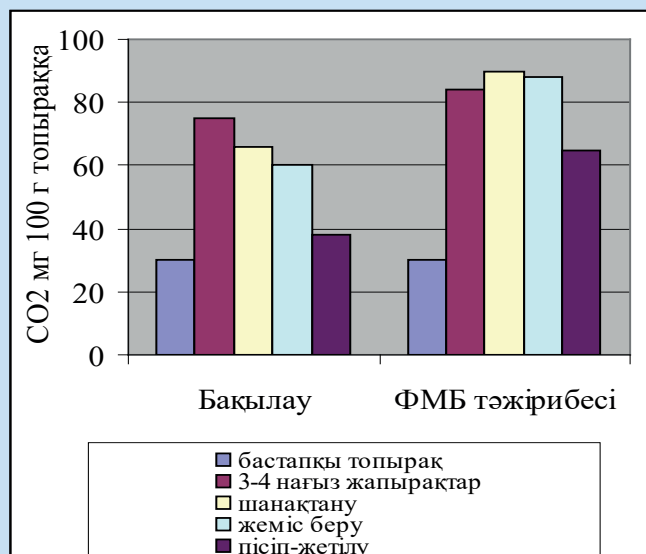
Нәтижесінде, топыраққа фосфорды минералдайтын қосылыстардың интродукциясы орғанофосфаттардың депонизациясына және топырақтағы қарашіріктің түзілуіне себепші болатыны айқындалды.

ФМБ қолдану қарашіріктің синтезіне қатысатын ферменттердің белсенділігіне әлдеқайда ықпал етеді. Пероксидазалық белсенділік бақылаумен салыстырғанда 1,5 есеге, полифенолоксидазаның белсенділігі бақылаумен (ФМБ-сыз бақылауда) – 1,6, минералды заттармен бақылауда 2,3 есеге өсті.

Зерттеулердің келесі сатысы топырақтың биологиялық белсенділігінің көрсеткіші ретінде топырақтан көмірқышқыл газының өндірілу қарқындылығына ФМБ әсерін

зерттеу болды. Аталған көрсеткіш атмосферадан топыраққа келетін оттегінің және органикалық заттардың күрделі тотығуының нәтижесінде өсімдіктерді көміртегімен қамтамасыз ететін маңызды көз көмірқышқыл газының мөлшерін сипаттайды. Топырақ бетінен CO₂-нің өндірілуі бірлесіп жүретін процестердің нәтижесі болып табылады да, бұнда шешуші орын геологиялық-биологиялық факторлардың үлесіне тиесілі.

Тәжірибелер топырақтың ауа тәртібі процестеріне ФМБ жағымды ынталандыру түрінде әсер ететінін көрсетті. 1 суреттен топырақтан CO₂-нің өндірілуі күмебелек вегетациясының барлық сатыларында ФМБ нұсқаларында жоғарылайтыны көрініп тұр. Егер бастапқы топырақта



Сурет 1. ФМБ топырақтан көмірқышқыл газының өндірілуіне әсері (2020–2022 жж. кіші сынама аланды тәжірибелердің орташа мәліметтері).

Figure 1. The impact of the PBF on the production of carbon dioxide from the soil surface (average indicators of field research on small sample areas, for 2020–2022).

Рис. 1. Влияние ФМБ на производство углекислого газа с поверхности почвы (средние показатели полевых исследований на малых пробных площадях, за 2020–2022 гг.).

бұл мөлшер 70 мг CO_2 /100гр топыраққа болса, онда бактериялармен нұсқада CO_2 -нің мөлшері шанақтану сатысында байқалып, 90 мг CO_2 /100гр топыраққа мөлшерін құрды.

Вегетацияның соңында пісіп-жетілу сатысында бақылауда CO_2 38 мг-ға дейін азайып, ал бактериялармен нұсқада 65 мг-ға жетті.

Алынған мәліметтер ФМБ органикалық қосылыстармен (көң) бірлесіп әсер еткенде сұр топырақтың белсенділігін біршама жоғарылататынын көрсетті. Зерттелген ферменттердің белсенділігінің жоғарылауы микроағзалардың және бірқатар физиологиялық топтардың (аммонификаторлар, олигонитрофильдер, азотфиксаторлар, актиномицеттердің) жалпы санының өзгермеуіне байланысты. Осыған орай, топырақтың тағы бір биологиялық белсенділігінің көрсеткіші ретінде топырақ бетінен көмірқышқыл газының өндірілуі жақсарады – бұл жағдай ФМБ пайдаланудың тиімділігін көрсетеді.

Қорытынды

Осы зерттеулерді қысқаша қорытатын болсақ, техногендік ластанған топырақтың улылық әсерін азайтуға мүмкіндік беретін ферменттердің белсенділік қабілетінің есебінен, атап айтатын болсақ, пероксидаза, полифенолоксидазаның топырақтағы белсенділігі қарашірік заттарының синтез процестері, олардың ыдырау процестерінен басымдылық көрсетіп, қарашіріктену коэффициенті ФМБ нұсқасында 0,54–8,83 мг/пурпургалин/100гр топыраққа жоғарылады. Осымен бірге, ФМБ нұсқаларында CO_2 -нің өндірілуі құм ебелектің барлық вегетация сатыларында бастапқы топырақта 70 мг CO_2 /100гр топыраққа құраса, бактериялармен нұсқада шанақтану сатысында CO_2 -нің мөлшері 90 мг CO_2 /100гр топыраққа тіркелді. Ал, вегетацияның соңында пісіп-жетілу сатысында бақылауда CO_2 38 мг-ға дейін азайып, ал бактериялармен нұсқада 65 мг-ға жетті.

Қорыта келе, топыраққа фосфорды минералдайтын қосылыстарды пайдалану орғанофосфаттардың деполимеризациясына және топырақтағы қарашіріктің түзілуіне себепші болатыны айқындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жауын құрттарын қолдану арқылы қалалық ортаның топырақ жамылғысының жағдайын биотестілеу / А.Д. Байботаева [және т. б.] // ҚазҰЗТУ Хабарлары. 2020. № 5 (141). Б. 72–77 (орыс тілінде)
2. Демев С.Н., Исенова Г., Кайсанова Г. Қостанай облысының топырақтарын әртүрлі өңдеу тәсілдерінде қаратопырақтардағы жаздың бидайдың ферментативтік белсенділігі әдістермен өңдеу // Топырақтану және агрохимия. 2015. № 3. Б. 109–116 (орыс тілінде)
3. Байботаева А.Д. Шымкент қаласының топырақты жерлерін техногенді ауыр металды (As, Pb, Cd) элементтерімен ластануын биоиндикациялау және биоремедияциялау технологиясын жасақтау: философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алуға арналған дисс. автореф.: Шымкент, 2022. 18 б. (қазақ тілінде)
4. Nnaji N.D., Onyeaka H., Miri T., Ugwa C. (02 сәуір 2023 ж.). Ауыр металдарды жоюдағы биоаккумуляция: шолу. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05351-6> (ағылшын тілінде)
5. Қорғасынның топырақтағы биожетімділігі мен экоуыттылығы: топырақ сапасының экологиялық стандарттарын белгілеудің маңызы / К. Oorts [және т. б.] // Экологиялық токсикология және химия. 2021. Т. 40. Шығ. 7. Б. 1948–1961 (ағылшын тілінде)
6. Priya A.K., Muruganandam M., Ali S.S., Kornaros M. (02 мамыр 2023 ж.). Ластанған топырақты фиторемедияция көмегімен ауыр металдардан тазарту: Пәнаралық және экологиялық көзқарас. <https://www.mdpi.com/2305-6304/11/5/422> (ағылшын тілінде)
7. Bhat S.A., Bashir O., Ul Haq S.A., Amin T., Rafiq A., Ali M., Américo-Pinheiro J H.P., Sher F. (2022 жылдың сәуірі). Топырақ пен судағы ауыр металдардың фиторемедияциясы: экологиялық,

тұрақтылық және пәнаралық көзқарас. https://www.researchgate.net/publication/360293511_Phytoremediation_of_heavy_metals_in_soil_and_water_An_eco-friendly_sustainable_and_multidisciplinary_approach (ағылшын тілінде)

8. Wei Z., Gu H., Van Le Q., Peng W., Lam S.S., Yang Y., Li C., Sonne C. (2021 ж. желтоқсан). Ауаны, судың және топырақтың мырышпен ластанын фитооремедиациялау перспективалары. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554121001777?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
9. Kuzmanović A., Tamindžija D., Ninkov J., Vasin J., Đurić S., Milić S., Radnović D. (2023 жылдың қаңтары). Воеводина, Сербия топырақтарындағы микроағзалардың ферментативтік белсенділігі. https://www.researchgate.net/publication/376935444_Microbial_enzymatic_activities_in_soils_of_Vojvodina_Serbia_Insights_into_the_relationship_with_chemical_soil_properties (ағылшын тілінде)
10. Janes-Bassett V., Blackwell M.S.A., Blai G., Davies J., Haygarth P.M., Mezeli M.M., Stewart G. (2021 ж. желтоқсан). Ауыршаруашылық жағдайларында фосфор тапшылығына жауап ретінде фосфатаза белсенділігінің метамалдауы. https://www.researchgate.net/publication/357309497_A_meta-analysis_of_phosphatase_activity_in_agricultural_settings_in_response_to_phosphorus_deficiency (ағылшын тілінде)
11. Bi B., Yin Q., Hao Z. (2023 ж. қазан). Тамыр фосфотазасының белсенділігі – бұл тамырлы тиімді кеңістікті сақтау градиентімен байланысты бәсекелестік қасиет. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2197562023000428?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
12. Теңіз кен орыны ауданындағы топырақтар жағдайын зерттеу / А.Ш. Канбетов [және т. б.] // ҚР Ұлттық Ғылым академиясының Хабарлары, «Геоэкология және техникалық ғылымдар» сериясы. 2023. Т. 5. № 461. Б. 145–155 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Biotestirovanie sostoyaniya pochvennogo pokrova gorodskoi sredy primeneniem dozhdevykh chervei [Biotesting the state of the soil cover of the urban environment using earthworms], A.D. Baibotaeva [et al.], Vestnik KazNITU [Bulletin of KazNITU]. 2020. No. 5 (141). 72–77 pp. (in Russian)
2. Demeuov S.N., Isenova G., Kaysanova G. Fermentativnaya aktivnost' pochvy v usloviyakh chernozema v posevakh yarovoi pshenitsy pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochv Kostanaiskoi oblasti [Enzymatic activity of soil in chernozem conditions in spring wheat crops with various methods of soil treatment in Kostanay region], Pochvovedenie i agrokimiya [Soil science and agrochemistry]. 2015. No. 3. 109–116 pp. (in Russian)
3. Baibotaeva A.D. Development of technology for bioindication and bioremediation of soil pollution of Shymkent city lands with elements of man-made heavy metals (As, Pb, Cd): abstract for the degree of Doctor of Philosophy (PhD): Shymkent, 2022. 18 p. (in Kazakh)
4. Nnaji N.D., Onyeaka H., Miri T., Ugwa C. (April 02, 2023). Bioaccumulation for heavy metal removal: a review. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05351-6> (in English)
5. Bioavailability and Ecotoxicity of Lead in Soil: Implications for Setting Ecological Soil Quality Standards / K. Oorts [et al.] // Environmental Toxicology and Chemistry. 2021. V. 40. No. 7. 1948–1961 pp. (in English)
6. Priya A.K., Muruganandam M., Ali S.S., Kornaros M. (02 May 2023). Clean-Up of Heavy Metals from Contaminated Soil by Phytoremediation: A Multidisciplinary and Eco-Friendly Approach. <https://www.mdpi.com/2305-6304/11/5/422> (in English)
7. Bhat S.A., Bashir O., Ul Haq S.A., Amin T., Rafiq A., Ali M., Américo-Pinheiro J H.P., Sher F. (April 2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. https://www.researchgate.net/publication/360293511_Phytoremediation_of_heavy_metals_in_soil_and_water_An_eco-friendly_sustainable_and_multidisciplinary_approach (in English)
8. Wei Z., Gu H., Van Le Q., Peng W., Lam S.S., Yang Y., Li C., Sonne C. (December 2021). Perspectives on phytoremediation of zinc pollution in air, water and soil. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554121001777?via%3Dihub> (in English)
9. Kuzmanović A., Tamindžija D., Ninkov J., Vasin J., Đurić S., Milić S., Radnović D. (January 2023). Microbial enzymatic activities in soils of Vojvodina, Serbia: insights into the relationship with chemical soil properties. https://www.researchgate.net/publication/376935444_Microbial_enzymatic_activities_in_soils_of_Vojvodina_Serbia_Insights_into_the_relationship_with_chemical_soil_properties (in English)

10. Janes-Bassett V., Blackwell M.S.A., Blai G., Davies J., Haygarth P.M., Mezeli M.M., Stewart G. (December 2021). A meta-analysis of phosphatase activity in agricultural settings in response to phosphorus deficiency. https://www.researchgate.net/publication/357309497_A_meta-analysis_of_phosphatase_activity_in_agricultural_settings_in_response_to_phosphorus_deficiency (in English)
11. Bi B., Yin Q., Hao Z. (October 2023). Root phosphatase activity is a competitive trait affiliated with the conservation gradient in root economic space. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2197562023000428?via%3Dihub> (in English)
12. Soil condition studies in the area of the Tengiz deposit. / A.Sh. Kanbetov [et al.] // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences. 2023. V. 5. No. 461. 145–155 pp. (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биотестирование состояния почвенного покрова городской среды применением дождевых червей / А.Д. Байботаева [и др.] // Вестник КазНУ. 2020. № 5 (141). С. 72–77 (на русском языке)
2. Демчугов С.Н., Исенова Г., Кайсанова Г. Ферментативная активность почвы в условиях чернозема в посевах яровой пшеницы при различных способах обработки почв Костанайской области // Почвоведение и агрохимия. 2015. № 3. С. 109–116 (на русском языке)
3. Байботаева А.Д. Разработка технологии биоиндикации и биоремедиации загрязнения почв земель города Шымкента элементами техногенных тяжелых металлов (As, Pb, Cd): автореф. дис. на соискание ученой степени доктора философии (Ph.D): Шымкент, 2022. 18 с. (на казахском языке)
4. Nnaji N.D., Onyeaka H., Miri T., Ugwa C. (02 апреля 2023 г.). Биоаккумуляция для удаления тяжелых металлов: обзор. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05351-6> (на английском языке)
5. Биодоступность и экотоксичность свинца в почве: значение для установления экологических стандартов качества почвы / К. Oorts [и др.] // Экологическая токсикология и химия. 2021. Т. 40. Вып. 7. С. 1948–1961 (на английском языке)
6. Priya A.K., Muruganandam M., Ali S.S., Kornaros M. (02 мая 2023 г.). Очистка загрязненной почвы тяжелыми металлами с помощью фиторемедиации: междисциплинарный и экологический подход. <https://www.mdpi.com/2305-6304/11/5/422> (на английском языке)
7. Bhat S.A., Bashir O., Ul Haq S.A., Amin T., Rafiq A., Ali M., Américo-Pinheiro J H.P., Sher F. (Апрель 2022 г.) Фиторемедиация тяжелых металлов в почве и воде: экологический, устойчивый и междисциплинарный подход. https://www.researchgate.net/publication/360293511_Phytoremediation_of_heavy_metals_in_soil_and_water_An_eco-friendly_sustainable_and_multidisciplinary_approach (на английском языке)
8. Wei Z., Gu H., Van Le Q., Peng W., Lam S.S., Yang Y., Li C., Sonne C. (Декабрь 2021 г.) Перспективы фиторемедиации загрязнения воздуха, почвы и воды цинком. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554121001777?via%3Dihub> (на английском языке)
9. Kuzmanović A., Tamindžija D., Ninkov J., Vasin J., Đurić S., Milić S., Radnović D. (Январь 2023 г.). Ферментативная активность микроорганизмов в почвах Воеводины, Сербия: понимание взаимосвязи с химическими свойствами почвы. https://www.researchgate.net/publication/376935444_Microbial_enzymatic_activities_in_soils_of_Vojvodina_Serbia_Insights_into_the_relationship_with_chemical_soil_properties (на английском языке)
10. Janes-Bassett V., Blackwell M.S.A., Blai G., Davies J., Haygarth P.M., Mezeli M.M., Stewart G. (Декабрь 2021 г.). Метаанализ активности фосфатазы в сельскохозяйственных условиях в ответ на дефицит фосфора. https://www.researchgate.net/publication/357309497_A_meta-analysis_of_phosphatase_activity_in_agricultural_settings_in_response_to_phosphorus_deficiency (на английском языке)
11. Bi B., Yin Q., Hao Z. (Октябрь 2023 г.) Активность корневой фосфатазы – это конкурентный признак, связанный с градиентом сохранения корнеобитаемого эффективного пространства. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2197562023000428?via%3Dihub> (на английском языке)
12. Изучение состояния почв в районе Тенгизского месторождения. / А.Ш. Канбетов [и др.] // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан, Серия геологии и технических наук. 2023. Т. 5. № 461. С. 145–155 (на английском языке)

Авторы туралы мәліметтер:

Абдраимова Қ.Т., биология ғылымдарының кандидаты, доцент м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан), kuralai.abdraimova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6390-2111>

Турметова Г.Ж., техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а. Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан), gulmira.turmetova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8772-9501>

Ибрагимова Э.К., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан), elmira.ibragimova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8944-5433>

Сунакбаева Д.К., техника ғылымдарының кандидаты доцент м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан), dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1182-7113>

Information about the authors:

Abdraimova K.T., Candidate of biological Sciences, Acting Associate Professor Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan)

Turmetova G.Zh., Candidate of technical Sciences, Acting Associate Professor Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan)

Ibragimova E.K., Candidate of technical Sciences, Associate Professor, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan)

Sunakbaeva D.K., candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Абдраимова К.Т., кандидат биологических наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Турметова Г.Ж., кандидат технических наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Ибрагимова Э.К., кандидат технических наук, доцент, Международный казахско-турецкий университет имени Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Сунакбаева Д.К., кандидат технических наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

ВЫСТАВКА**24-26 сентября 2025****23-я международная выставка-форум****ПРОМЫШЛЕННЫЙ
САЛОН****Ваше оборудование —
наши покупатели****18+**

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТОРГОВЛИ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИСОЮЗ
МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
РОССИИТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПАЛАТЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПАЛАТЫ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**ЭКСПО-ВОЛГА**
организатор выставок с 1986 г.**г. Самара, ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-24****www.expo-volga.ru**

МАРЖАН БАЙСАНОВНА НУРПЕИСОВА – «ЛУЧШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ВУЗА РК 2024 ГОДА»!

Доктор технических наук, профессор, выдающийся ученый, педагог, академик Национальной академии горных наук Казахстана и Академии горных наук России, лауреат республиканских премий имени К.И. Сатпаева и Ш. Есенова, член Союза писателей Казахстана, профессор М.Б. Нурпеисова является яркой личностью, чьи научные труды и учебники широко известны не только в Казахстане, но и за его пределами.

Родившись 25 апреля 1937 года в Кокшетауской области, она в 1955 году поступила на горный факультет КазГМИ, выбрав для себя нелегкую, но почетную профессию горного инженера-маркшейдера. Уже во время учебы проявила выдающийся интерес к науке, что не осталось незамеченным: профессорско-преподавательский состав кафедры рекомендовал ее в аспирантуру. Под руководством академика НАН РК А.Ж. Машанова она блестяще защитила кандидатскую диссертацию, а в 1995 году – докторскую.

Вся ее профессиональная деятельность неразрывно связана с проблемами геомеханики, геодезии и охраны недр. Как продолжатель научной школы А.Ж. Машанова, профессор М.Б. Нурпеисова разработала фундаментальные научные основы прогнозирования процесса сдвижения и управления геотехническими процессами при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Ее исследования успешно внедрены на горных предприятиях, что принесло значительные результаты для горнодобывающей отрасли.

Под ее научным руководством защищены 10 докторов Ph.D, 18 кандидатских и 2 докторских диссертации. Вклад профессора в науку подтверждается внушительным числом публикаций: более 300 научных и учебно-методических работ, 12 монографий, 15 учебников и учебных пособий, 14 авторских свидетельств и патентов, свыше 50 статей, опубликованных в ведущих зарубежных научных изданиях.

Профессор М.Б. Нурпеисова не только выдающийся ученый, но и активный организатор науки. По ее инициативе в 2000 году на базе кафедры маркшейдерского дела и геодезии КазНТУ имени К.И. Сатпаева был создан диссертационный совет по защите докторских и кандидатских диссертаций, председателем которого она оставалась в течение 2000–2007 годов. В настоящее время она является членом докторских советов по Ph.D КазНТУ и ТашГТУ, а также редколлегий ведущих научных изданий: «Известия НАН РК», «Горный журнал Казахстана» и «Вестник ТашГТУ».

Научная деятельность профессора не ограничивается лишь теоретическими разработками. Она продолжает поддерживать тесные связи с промышленными предприятиями, научными центрами и вузами Казахстана и стран СНГ, активно участвуя в общественной жизни университета и научного сообщества.

Но сфера ее интересов простирается далеко за пределы горного дела. Будучи членом Союза писателей Казахстана, она внесла значительный вклад в развитие литературы, опубликовав шесть художественных и поэтических книг, среди которых «Көкшенің көлдерінде тасып жүрем»,

«Қазағымның қыздары-ай», «Научная школа Машанова», «Атамекен», «Низкий поклон», «Үш орта». За активную журналистскую деятельность в 1960 году она была награждена Грамотой Верховного Совета Казахской ССР.

Особую гордость вызывает тот факт, что профессор Нурпеисова трижды удостоивалась высшей педагогической награды Казахстана – Государственного гранта «Лучший преподаватель ВУЗа РК» (2006, 2011, 2024 гг.), а также дважды становилась лауреатом Национального отраслевого конкурса «Золотой Гефест» в номинации «Ученый-педагог года» (2012, 2018 гг.).

За плодотворный труд в области создания учебников нового поколения профессор М.Б. Нурпеисова отмечена медалью имени А. Байтурсынова (2003 г.).

Ее вклад в развитие образования был особо отмечен в 2024 году, когда профессор Нурпеисова М.Б. подготовила к 90-летию университета фундаментальный труд – книгу «Кафедра Маркшейдерское дело и геодезия КазНТУ имени К.И. Сатпаева за 90 лет», ставшую ценным историко-научным изданием. В этот же период она опубликовала цикл статей в ведущих республиканских научных и общественных изданиях, посвященных выдающимся ученым и выпускникам КазГМИ.

Редакционная коллегия с глубокой признательностью поздравляет выдающегося ученого, доктора технических наук, профессора, академика Национальной академии горных наук Казахстана и Академии горных наук России, члена Союза писателей Казахстана Маржан Байсановну Нурпеисову с заслуженным признанием ее многолетнего труда и высокой государственной наградой – орденом «Құрмет», а также с очередным высоким признанием ее труда «Лучший преподаватель ВУЗа РК 2024 года»! Ваши достижения – это не только личный успех, но и значимый вклад в развитие отечественного образования и науки. Желаем дальнейших побед, вдохновения и новых свершений!



ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте minmag.kz).

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

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?p1=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
 - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте minmag.kz.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности. Если существует необходимость опубликовать статью в одном из ближайших номеров журнала, авторы оплачивают ускорение в размере 50000 (пятьдесят тысяч) тенге.