

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

Издается с января 2003 г.

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

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

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

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

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

Представители журнала:

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

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

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

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

Подписано в печать 10.09.2026 г.

Отпечатано:

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

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



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

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

Редакционная коллегия:

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

Vach K., доктор Ph.D (Чехия)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

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

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

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

Mishra B.M., профессор (США)

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

Nikoloski A.N., профессор (Австралия)

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

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

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

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

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

Yeneneh A.M., ассоц. профессор (Оман)

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

 – статья публикуется в авторской редакции

- 3** **Ғасырлық ғұмырдың тағылымы**
- 5** **«Алгоритм успеха»: от горного производства к комплексным решениям в недропользовании**
- 6** **«The algorithm of success»: from mining operations to integrated solutions in subsoil use**
Ю. А. Личман, Э. Х. Даутов, Т. Т. Бондаренко
- 8** **Результаты применения некоторых практических рекомендаций
 для увеличения высоты внешних породных отвалов из условий безопасности на разрезе
 «Восточный» ФАО «ЕЭК»**
- Геодезия**
- 13** **Б. Мынгжасаров, Ш. К. Айтказинова, Д. М. Киргизбаева, Н. А. Милетенко*
**Опыт использования высокоточного электронного тахеометра при деформационном мониторинге
 гидротехнических сооружений**
- Г. Мейрамбек, *М. М. Уйсенов*
- 20** **Ғаж және жқз деректері негізінде Маңғыстау облысындағы жер қойнауын пайдалану мен жерлердің
 бұзылуының геокеністіктік мониторингі**
- D. Ozhigin, *U. Kubaidullina, V. Kazantseva, O. Starostina*
- 27** **Application of InSAR technology for monitoring of the Sherubay-Nura reservoir dam**
- 34** **Р. С. Құрманбаев, А. Кенесбаева, О. С. Құрманбаев, Бен Джарихани*
Каспий маңы аймағының геодинамикасын мониторингтеудің геодезиялық әдістерін жетілдіру
- Геомеханика**
- Н. М. Замалиев, *В. Н. Долгоносков, И. М. Шмидт-Федотова, А. Н. Шулепин*
- 41** **Обоснование параметров анкерного крепления подготовительных горных выработок в условиях
 слонстых и нарушенных пород Карагандинского угольного бассейна**
- V. F. Demin, R. A. Mussin, *E. D. Reshetnyakov, D. R. Akhmatnurov*
- 48** **Comprehensive geomechanical assessment of underground mine roadway stability using Dips and
 Unwedge software complexes**
- Р. К. Байғали, *В. Ф. Ярцева, Т. Т. Бондаренко, А. А. Турсынбеков*
- 55** **Оценка устойчивости проектируемого отвала «Озерный-2» разреза «Северный» ТОО «Богатырь
 Комир»**
- Охрана труда и безопасность в горной промышленности**
- *Е. Ж. Ормамбеков, С. Р. Гречухин, Р. В. Шульц, А. А. Турсынбеков*
- 62** **Геотехническая служба АО «Алтынтау Кокшетау»: комплексный мониторинг в системе
 обеспечения безопасности при ведении горных работ**
- Геоэкология**
- *О. Байтурбай, М. Б. Нұрпейісова, А. Т. Салқынов, Дж. Сагин*
- 69** **Су ресурстарының ластануы және оны шешудің жолдары**
- Металлургия**
- В. Т. Altaibayev, М. К. Kylyshkanov, *К. S. Togizov*
- 76** **Investigation of the acid desilication process of industrially spent anion exchange resin**
- Юбилей**
- 82** **Зұлылықты ұлықтау – парыз**
- 83** **Алексей Цеховой: от автоматизации горного производства к культуре проектного управления**

ҒАСЫРЛЫҚ ҒҰМЫРДЫҢ ТАҒЫЛЫМЫ



2026 жылғы қазанда Қазақстанның тау-кен металлургия саласының дамуына өлшеусіз үлес қосқан көрнекті тау-кен инженері, техника ғылымдарының кандидаты, КСРО Мемлекеттік сыйлығының лауреаты, КСРО-ның еңбек сіңірген шахтері Далабай Оспанұлы Ешпановтың туғанына 100 жыл толады.

Оның жарты ғасырдан астам еңбек жолы Жезқазған, Ақшатау және Балқаш секілді еліміздің ірі тау-кен металлургия орталықтарымен тығыз байланысты. Далабай Ешпанов – өндірісті терең меңгерген инженер ғана емес, тұтас кәсіпорындардың дамуына бағыт берген білікті басшы, жаңа технологияларды өндіріске батыл енгізген жаңашыл, кейінгі буынға өнеге қалдырған тәлімгер тұлға.

Сыр бойынан Сарыарқа кеніштеріне

Далабай Ешпанов 1926 жылғы 15 қазанда Қызылорда облысының Қармақшы ауданында, Сырдария бойында дүниеге келді. 1944 жылы Алматыдағы Қазақ тау-кен металлургия институтына оқуға түсті. Бұл – Орталық Қазақстанның табиғи байлықтары кеңінен игеріліп, Жезқазған мен Балқаш ірі индустриялық орталықтарға айнала бастаған тарихи кезең еді. Далабай Ешпанов тек білікті инженер ғана емес, елдік мүддені бәрінен биік қойған мемлекетшіл азамат болды. Ол Қаныш Сәтбаев, Дінмұхамед Қонаев, Шахмардан Есенов, Евней Бөкетов секілді қазақтың біртуар тұлғаларымен бірге еңбек етіп, ұлттық өндірістің қалыптасуы мен нығаюына сүбелі үлес қосты.

1949 жылы институтты «тау-кен инженері-маркшейдер» мамандығы бойынша тәмамдаған жас маман еңбек жолын Жезқазған тау-кен металлургия комбинатында бастады. Осы кәсіпорында өткен 22 жыл оның кәсіби қалыптасуының үлкен мектебіне айналды. Учаскелік маркшейдерден бастап шахтаның бас инженері, кеніш бастығы, бас инженер және директор қызметтеріне дейін көтерілді. Өндірістің барлық сатысынан өткен осындай еңбек жолы оны кеншінің күнделікті жұмысынан бастап алып кәсіпорынды басқарудың күрделі мәселелеріне дейін жетік білетін нағыз өндіріс басшысы етіп қалыптастырды.

1971–1974 жылдары Далабай Оспанұлы Ақшатау тау-кен байыту комбинатын басқарды. Кейін Жезқазғанға оралып, тау-кен металлургия комбинатының бас инженері болды. Ал 1980 жылы Балқаш тау-кен металлургия комбинатының бас директоры қызметіне тағайындалып, оны 1986 жылға дейін басқарды.

Инженерлік ізденіс пен кәсіби биіктік

Далабай Ешпанов өндірістік тәжірибені ғылыми ізденіспен ұштастыра білген инженер еді. 1965 жылы канди-

даттық диссертациясын қорғап, техника ғылымдарының кандидаты ғылыми дәрежесін алды. 1969 жылы оған «КСРО-ның еңбек сіңірген шахтері» құрметті атағы берілді. Ал 1970 жылы Жезқазған тау-кен металлургия комбинаты шахталарында кен өндірудің жаңа технологиясын әзірлеп, өздігінен жүретін жабдықтарды қолдану негізінде тау-кен жұмыстарын кешенді механикаландыруды өндіріске енгізгені үшін КСРО Мемлекеттік сыйлығының лауреаты атанды. Еңбегі мемлекет тарапынан жоғары бағаланып, Ленин, Қазан революциясы және Еңбек Қызыл Ту ордендерімен марапатталды. Қазақстан Компартиясы Орталық Комитетінің мүшесі болып сайланып, КОКП XXVII съезіне делегат ретінде қатысты.

Мұның бәрі оның кәсіби беделінің тек өзі басқарған кәсіпорындарда ғана емес, бүкіл одақтық тау-кен металлургия саласында мойындалғанын көрсетеді.

Балқаш: жаңғыру мен жасампаздық кезеңі

Далабай Оспанұлының өмірбаянында Балқаш кезеңінің орны айрықша. 1980 жылы Балқаш тау-кен металлургия комбинатын басқаруға келген ол өндірістік жоспарларды орындаумен шектелмей, алып кәсіпорынды техникалық тұрғыдан жаңғыртуға ерекше мән берді.

1981–1986 жылдары оның басшылығымен байыту фабрикасы қайта жаңғыртылып, өндірістің тұрақты жұмыс істеуіне бағытталған бірқатар маңызды техникалық және ұйымдастырушылық міндеттер шешілді. Осы кезеңнің ең елеулі оқиғаларының бірі – Балқаш мыс балқыту зауытында сол уақыттағы ең озық технологиялардың бірі саналатын сұйық ваннада балқыту әдісінің, яғни Ванюков пешінің өндіріске енгізілуі болды. 1985 жылы, Далабай Ешпанов комбинатты басқарып тұрған кезеңде, Ванюков пеші пайдалануға берілді.



Атақты Ванюков пеші

Жаңа технология сульфидті шикізатты үздіксіз өндеуге мүмкіндік беріп, металлургиялық өндірістің тиімділігін едәуір арттырды.

Ең маңыздысы – осыдан төрт онжылдық бұрын енгізілген технологияның өміршеңдігін уақыттың өзі дәлелдеді. Далабай Оспанұлының ғасырлық мерейтойы аталып өтетін 2026 жылы да Балқаш мыс балқыту зауытында осы технологиялық желіге қатысты жабдықтарды ауқымды жаңғырту жұмыстары жүргізілуде. Бұл – бір кезеңде қабылданған инженерлік шешімнің бірнеше буынға қызмет ете алатынын көрсететін жарқын мысал.

Далабай Ешпанов үшін комбинат тек шахталар, фабрикалар мен өндірістік цехтардан тұрған жоқ. Алып өндірістің басты құндылығы – **адам** екенін ол терең түсінді.

Сондықтан өндірістік қауіпсіздікпен қатар жұмысшылардың тұрмыс жағдайын жақсартуға, тұрғын үй салуға, денсаулық сақтау, мәдениет пен спорт нысандарын дамытуға ерекше көңіл бөлді. Оның еңбегі Жезқазған, Сәтбаев және әсіресе Балқаш қалаларының әлеуметтік дамуы тарихынан да айқын көрінеді. Замандастары Далабай Оспанұлы басшылық еткен жылдары Балқашта комбинат қызметкерлеріне арналған жайлы көпқабатты тұрғын үйлердің қарқынды салынғанын ерекше атап өтеді. Қала құраушы кәсіпорынның басшысы ретінде ол: қуатты өндірістің негізінде техника мен технология ғана емес, ең алдымен адамға деген қамқорлық тұруы керек деген қағиданы берік ұстанды.

Инженер. Басшы. Тәлімгер

Бас директор қызметінен кейін де Далабай Оспанұлы тау-кен металлургия саласынан қол үзген жоқ. «Қазтүстіметмаш» ғылыми-өндірістік бірлестігінде жетекші инженер, «Қазметалл» қауымдастығы техникалық дирекциясының бас сарапшысы қызметтерін атқарды. 1997–2004 жылдары «Қазақмыс» корпорациясының бас сарапшысы болды. Ондаған жылдар бойы жинақталған мол өндірістік және инженерлік тәжірибесін жас мамандарға беріп, тау-кен инженерлері мен металлургтердің жаңа буынын тәрбиелеуге атсалысты.

Замандасы әрі досы, Қазақстан Республикасының еңбек сіңірген қайраткері Кәкімбек Салықов Далабай Ешпановты терең білімді, ойшыл инженер, қазақ халқының тарихын және ана тілін жетік білетін азамат ретінде жоғары бағалаған. Ол талапшыл әрі қатал басшы болғанымен, қарамағындағы адамдарға ерекше ілтипатпен қарайтын. Кәкімбек Салықовтың естелігі бойынша, ұжымға қамқорлық жасау Далабай Оспанұлының өмірлік ұстанымы еді.

Оның тұлғалық болмысының мәні де осында. Далабай Ешпанов инженерлік шешім, өндірістік нәтиже және адам алдындағы жауапкершілікті бір-бірінен бөліп қарамаған басшылар буынының өкілі болды.

Өнегелі ғұмыр – өшпес мұра

Далабай Оспанұлы Ешпанов 2004 жылғы қыркүйекте өмірден өтті. Алайда үлкен инженердің артында салынған кәсіпорындар мен жүзеге асырылған өндірістік жобалар ғана қалған жоқ. Оның кәсіби мектебі, шәкірттері мен ізбасарлары, кеншілер мен металлургтердің тұтас буыны қалды. Отбасындағы кәсіби дәстүрді кейінгі ұрпақ өкілдері де жалғастырды. Бүгін, туғанына жүз жыл толған тұста, Далабай Ешпанов атқарған істің ауқымы бұрынғыдан да айқын көрінеді.

Жезқазған мен Балқаштың алып кәсіпорындары әлі де ел экономикасына қызмет етіп, заман талабына сай жаңғырып келеді. Ал кезінде оның тікелей қатысуымен қабылданған инженерлік және технологиялық шешімдердің бірқатары арада ондаған жыл өтсе де қазіргі өндірістің құрамдас бөлігі болып отыр.

Туғанына 100 жыл толып отырған Далабай Оспанұлының ғибратты ғұмыры – кәсіби шеберліктің, адал еңбектің, отаншылдықтың және елге қалтқысыз қызмет етудің жарқын үлгісі. Ол Қаныш Сәтбаев бастаған жасампаз істі жалғастырып, Қазақстанның өнеркәсіптік қуатын қалыптастырған тау-кен инженерлерінің көрнекті шоғырына жатады. Бұл буын ел байлығын игеруге кәсіби білімін, инженерлік талантын, қажыр-қайратын арнап қана қойған жоқ. Олар өндірістің тағдырын, еңбек адамының жағдайын және саланың болашағын өздерінің азаматтық жауапкершілігі деп білді. Олардың есімі мен еңбегі кейінгі ұрпаққа әрдайым өнеге болып қала береді. Осындай азаматтардың өмір жолын ұлықтау – парыз, өткенге тағзым ғана емес, болашаққа бағдар.

Далабай Ешпановтың ғибратты өмірі – ғасырлық ғұмырдың тағылымы.

Ғасыр өтсе де ел игілігіне қызмет еткен еңбек ұмытылмайды. Осындай тұлғалардың өнегесін ұлықтау – өткенге тағзым ғана емес, Қазақстанның жаңа буын кеншілері мен инженерлеріне аманат, кәсіби адалдық пен елге қызмет етудің биік өлшемі.

Сөз соңын, көрнекті ақын, мемлекет және қоғам қайраткері Кәкімбек Салықовтың оған арнайы жыр арнап, азаматтық келбетін бейнеген мына бір шумақ өлеңімен аяқтағымыз келеді

*Дарындылығың атыңды биік етті,
Зор сенімін туған елдің ірілетті.
Кенші-ғалым, қазынат азамат деп,
Қаныш-аға өзіңді сүйіп өтті.*

М. Б. Нұрпейісова,
тех.ғыл.док., ҚазҰТЗУдың профессоры,
Қазақстан Жасушылар Ордағның мүшесі
А. Т. Салқынов,
PhD, «АлГеоРитм» ҒӨК, бас директоры

«АЛГОРИТМ УСПЕХА»: ОТ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА К КОМПЛЕКСНЫМ РЕШЕНИЯМ В НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

Профессиональный путь Арната Салкынова и развитие научно-производственной компании «АлГеоРитм»



Современное недропользование требует не только глубоких инженерных знаний, но и умения объединять науку, производство, проектирование и инвестиционные решения. Именно такой комплексный подход лежит в основе профессионального пути горного инженера Арната Турсунбекулы Салкынова и деятельности созданной им научно-производственной компании «АлГеоРитм».

Профессиональная школа Жезказгана

Арнат Турсунбекулы Салкынов – горный инженер, специалист в области недропользования, основатель и руководитель научно-производственной компании «АлГеоРитм». В 1999 году он окончил Казахский национальный технический университет по специальности «Горный инженер».

Трудовую деятельность начал на рудниках Жезказгана – одном из крупнейших центров горнодобывающей промышленности Казахстана. В течение 17 лет работал в корпорации «Казахмыс», последовательно приобретая производственный и управленческий опыт. Работа непосредственно на горных предприятиях сформировала практическое понимание технологических процессов, требований промышленной безопасности, геомеханических рисков и ответственности за принимаемые инженерные решения.

Накопленный опыт охватывает горное производство, геомеханику, геологоразведочные работы, организацию инвестиционных проектов и сопровождение деятельности недропользователей. В настоящее время Арнат Салкынов также занимается научно-исследовательской работой, изучая вопросы развития малого и среднего бизнеса в сфере недропользования и совершенствования механизмов его государственной поддержки.

«АлГеоРитм»: полный цикл – от идеи до реализации

Научно-производственная компания «АлГеоРитм» осуществляет деятельность с 2012 года. Компания создавалась как инженерная структура, способная сопровождать проекты на различных этапах – от предварительной оценки и изысканий до проектирования, строительства и подготовки к промышленному освоению.

Ключевая особенность компании – междисциплинарный подход. В одном производственном контуре объединены научно-исследовательские, проектно-изыскательские, геологические, маркшейдерские, гидрогеологические, лабораторно-аналитические и строительные компетенции. Такой формат позволяет заказчику получать не отдельную услугу, а согласованное комплексное решение с учетом технических, экономических и регуляторных факторов.

«Наша задача – соединить инженерную точность, научную обоснованность и практическую реализуемость проекта».

Компетенции и стандарты качества

«АлГеоРитм» располагает государственными лицензиями на изыскательскую деятельность, эксплуатацию и проектирование горных и химических производств, а также на строительные и проектные работы III категории. Компания аккредитована как субъект научной и научно-технической деятельности и имеет необходимые аттестаты для выполнения работ в области экологии и промышленной безопасности.

В компании внедрена интегрированная система менеджмента, охватывающая качество, охрану окружающей среды, безопасность труда и энергоменеджмент. Работа выстроена в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9001, ISO 14001 и ISO 45001.

Основные направления деятельности:

- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- проектно-изыскательская деятельность;
- маркшейдерия и геодезия;
- гидрогеологические исследования и бурение скважин;
- разведка твердых полезных ископаемых;
- горные работы;
- лабораторно-аналитические исследования;
- промышленное строительство.

Доверие отрасли и партнерский подход

За годы работы компания сформировала опыт взаимодействия с ведущими предприятиями горно-металлургического комплекса страны. Среди заказчиков и партнеров – структуры корпорации «Казахмыс», «Казцинк», ERG, «Алтай Полиметаллы», AltynEx Company, «Восход-ORIEL», KAZ Minerals, «Алтыналмас», «Nova Цинк» и другие.

В основе работы «АлГеоРитм» лежат принципы бережливого производства, индивидуального подхода и непосредственного сопровождения проектов на местах. Практическая цель такого подхода – помочь заказчику оптимизировать

зирать производственные процессы, снизить издержки, повысить управляемость рисков и обеспечить устойчивую реализацию проекта.

Наука, бизнес и будущее недропользования

Сегодня перед отраслью стоят задачи восполнения минерально-сырьевой базы, привлечения инвестиций в геологоразведку, повышения технологичности производства и расширения участия отечественных сервисных и юниорских компаний. Решение этих задач требует более

тесной связи науки, инженерной практики, бизнеса и государственных институтов.

Профессиональный путь Арната Салкынова показывает, что устойчивое развитие в горной отрасли начинается с практического опыта, продолжается через научный поиск и получает реальное воплощение в эффективных производственных решениях. Именно этот принцип – последовательность, системность и ответственность за результат – можно назвать главным «алгоритмом успеха» компании.

«THE ALGORITHM OF SUCCESS»: FROM MINING OPERATIONS TO INTEGRATED SOLUTIONS IN SUBSOIL USE

The professional journey of Arnat Salkynov and the development of the Scientific and Production Company «AlGeoRitm»



Modern subsoil use requires not only deep engineering expertise, but also the ability to integrate science, production, design, and investment solutions. This comprehensive approach lies at the heart of the professional journey of mining engineer Arnat Tursunbekuly Salkynov and the activities of the Scientific and Production Company «AlGeoRitm», which he founded.

The Zhezkazgan School of Professional Excellence

Arnat Tursunbekuly Salkynov is a mining engineer, a specialist in subsoil use, and the founder and head of the Scientific and Production Company «AlGeoRitm». In 1999, he graduated from the Kazakh National Technical University with a degree in Mining Engineering.

He began his professional career at the mines of Zhezkazgan, one of Kazakhstan's major mining centers. For 17 years, he worked at Kazakhmys Corporation, progressively gaining extensive production and management experience. Direct involvement in mining operations shaped his practical understanding of technological processes, industrial safety requirements, geomechanical risks, and the responsibility associated with engineering decisions.

His accumulated experience spans mining operations, geomechanics, geological exploration, investment project development, and support for subsoil users. At present, Arnat Salkynov is also engaged in research, focusing on the development of small and medium-sized businesses in the subsoil use sector and on improving mechanisms of government support for these enterprises.

«AlGeoRitm»: A Full Cycle – From Concept to Implementation

The Scientific and Production Company «AlGeoRitm» has been operating since 2012. The company was established as an engineering organization capable of supporting projects at various stages – from preliminary assessment and surveys to design, construction, and preparation for commercial development.

A key distinguishing feature of the company is its multidisciplinary approach. Research, design and survey, geological, mine surveying, hydrogeological, laboratory and analytical, and construction competencies are integrated within a single operational framework. This enables clients to receive not an isolated service, but a coordinated, comprehensive solution that takes technical, economic, and regulatory factors into account.

«Our goal is to combine engineering precision, scientific validity, and the practical feasibility of every project».

Expertise and Quality Standards

«AlGeoRitm» holds state licenses for survey activities, the operation and design of mining and chemical production facilities, as well as Category III construction, installation, and design works. The company is accredited as an entity engaged in scientific and scientific-technical activities and holds the necessary certifications to perform work in the fields of environmental protection and industrial safety.

The company has implemented an integrated management system covering quality, environmental protection, occupational health and safety, and energy management. Its operations are organized in accordance with the requirements of international standards ISO 9001, ISO 14001, and ISO 45001.

Core Areas of Activity:

- research and development activities;
- design and survey activities;

- mine surveying and geodesy;
- hydrogeological studies and well drilling;
- exploration of solid mineral resources;
- mining operations;
- laboratory and analytical studies;
- industrial construction.

Industry Trust and a Partnership-Oriented Approach

Over the years, the company has developed extensive experience working with leading enterprises in Kazakhstan's mining and metallurgical sector. Its clients and partners include entities within Kazakhmys Corporation, Kazzinc, ERG, Altai Polymetals, AltynEx Company, Voshod-ORIEL, KAZ Minerals, Altynalmas, Nova Zinc, and others.

The work of «AlGeoRitm» is based on the principles of lean production, an individual approach to clients, and direct on-site project support. The practical objective of this approach is to help clients optimize production processes, reduce costs,

improve risk management, and ensure the sustainable implementation of projects.

Science, Business, and the Future of Subsoil Use

Today, the industry faces the challenges of replenishing the mineral resource base, attracting investment into geological exploration, increasing the technological efficiency of production, and expanding the participation of domestic service and junior companies. Addressing these challenges requires closer cooperation between science, engineering practice, business, and government institutions.

Arnat Salkynov's professional journey demonstrates that sustainable development in the mining industry begins with hands-on experience, advances through scientific inquiry, and ultimately takes shape in effective production solutions. This principle – consistency, a systematic approach, and responsibility for results – can rightly be regarded as the company's main «algorithm of success».

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2026

РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

СОТРУДНИЧЕСТВО

Узнайте больше
на сайте:



Instagram:



Консультация
в WhatsApp:



РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫСОТЫ ВНЕШНИХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ИЗ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА РАЗРЕЗЕ «ВОСТОЧНЫЙ» ФАО «ЕЭК»

В практике отвалообразования высота породных отвалов изменяется в значительных пределах и зависит главным образом от физико-механических свойств складываемых горных пород, прочности пород основания отвала, рельефа местности и технологии отвалообразования.

На протяжении длительного времени высоту внешних отвалов при транспортных системах открытой разработки принимали в пределах 45,0–60,0 м. Это в некоторой степени приводило к тому, что отвалы удалялись на значительные расстояния от разрезов, увеличивалась стоимость транспортировки пустых пород, занимались большие земельные площади.

В целях снижения затрат на отвалообразование, на ряде предприятий по добыче полезных ископаемых открытым способом пошли по пути значительного увеличения высоты отвалов. Часто высокие отвалы стали отсыпаться в гористой местности при складировании скальных пород. Например, на Алтын-Топканском комбинате высота отвала при экскаваторном способе отвалообразования составляла 130 м. Высокие породные отвалы на горных склонах отсыпались в Търнаузском ГМК (400–500 м), в Алмалыкском ГМК (200–300 м). На Центральном руднике ПО «Апатит» при бульдозерном отвалообразовании отсыпка пород в отвалы производилась одним уступом высотой 250–400 м. На Нерюнгринском разрезе высота породных отвалов достигает 40–50 м, а на участках с пониженным рельефом местности – 70 м. Характер деформации отвалов не затрудняет ведение отвальных работ. На разрезах Кузбасса: Кедровском, им. 50-летия Октября высота нижнего яруса экскаваторных отвалов достигает 80 м. Отсыпка высоких породных отвалов производится на ряде других карьеров за рубежом, где отвалообразование в условиях гористого рельефа осуществлялось на рудниках «Вингам-Юта», «Уинства Синклер» (США), «Ачанга» (Южная Африка) и др., где высота отвалов достигает 250–600 м.

Исходя из вышесказанного, постановка вопроса об увеличении высоты породных отвалов на разрезе «Восточный» – ФАО «Евразийская энергетическая корпорация» имеет под собой реальную основу.

Из литературных источников известно, что в ряде случаев высокие отвалы деформируются, а иногда отвалообразование производится в условиях постоянного движения отвалов, однако, основное условие ведения работ – это обеспечение безопасной работы людей и оборудования, занятых на данном технологическом процессе.

Как правило, деформационные процессы отвалов носят закономерный характер и проявляются в постепенном и плавном нарастании скорости смещения отдельных участков отвалов. Технологическим критерием их безопасной эксплуатации служит вертикальная скорость их деформации – 50 мм/сутки. Зачастую знание закономерности данных процессов позволяет безопасно производить отвальные работы даже в условиях постоянного их движения.

Основными причинами оползней и деформаций откосов отвалов являются:

- низкая несущая способность грунтов в основании отвалов;
- несоответствие высоты отвала физико-механическим свойствам пород, отсыпаемых в теле отвала;
- концентрация глинистых пород в нижних слоях отвала;
- отгрузка в отвалы увлажненных глинистых пород;
- наличие снега в теле отвала вблизи его откоса в период снеготаяния;
- накопление дождевых и паводковых вод у нижней бровки отвала.

Разрез «Восточный» ФАО «ЕЭК» располагается в границах Экибастузского угольного бассейна в непосредственной близости от города Экибастуз Павлодарской области Республики Казахстан. Фронт добычных работ на разрезе, в настоящее время, составляет около 7,0 км, отработка вскрышной зоны ведется на 14-ти уступах высотой от 10,0 до 20,0 м. При среднем 14-градусном угле наклона угольных пластов к горизонту, в направлении добычной зоны в ближайшие годы ожидается ежегодное увеличение скорости погружения горных работ от 5,0 до 10,0 м.

В соответствии с геологическими данными вскрышные породы состоят из ~30% алевролитов, песчаников – ~25%, аргиллитов – ~20% и ~25% остаточных, состоящих из переслаивающихся угля, углистых сланцев и пород.

Физико-механические свойства песчаников, алевролитов аргиллитов приведены в таблицы 1, 2, 3.

Разрез «Восточный» расположен в районе со сложными гидрогеологическими условиями. Подземные воды имеют минерализацию от 0,6–1,0 до 5,0–14,8 г/дм³, приурочены к наиболее проницаемым зонам трещиноватых пород и локально-распространенным рыхлым отложениям. Дебиты скважин невысокие 0,1–0,2 л/с, реже 0,5–0,6 л/с при понижении уровня до 15,0–17,8 м. Среди анионов в пресных водах преобладают гидрокарбонаты и сульфаты, а в солоноватых – хлориды и сульфаты. Воды содержат значитель-

Таблица 1

Физико-механические свойства песчаников

Глубина залегания, м	Влажность, W_m , %	Временное сопротивление сжатию, $\sigma_{сж.}$		Временное сопротивление растяжению, $\sigma_{раст.}$		Величина сцепления в куске, т/м ²	Объемная масса, г/см ³	Плотность, г/см ³	Абразивность, г/т
		кг/см ²	МПа	кг/см ²	МПа				
0–50	2,0	205	20,5	11	1,1	170	2,39	2,70	36
50–100	1,3	<u>409–494</u> 471	<u>41,0–49,6</u> 47,6	<u>29–52</u> 34	<u>2,9–4,2</u> 3,4	415	2,52	2,70	36
100–200	2,0	<u>433–642</u> 542	<u>43,3–64,2</u> 54,2	<u>31–54</u> 43	<u>3,1–5,4</u> 4,3	620	2,55	2,73	36
200–300	1,9	<u>509–751</u> 626	<u>51,0–75,1</u> 62,6	<u>45–75</u> 56	<u>4,5–7,5</u> 5,6	765	2,61	2,74	36
300–400	1,9	<u>529–762</u> 612	<u>53,0–76,2</u> 61,5	<u>51–70</u> 59	<u>5,1–7,0</u> 5,9	870	2,64	2,78	36

Примечание.

В числителе: минимум – максимум, в знаменателе – среднее значение.

Величина трещиноватости: *min.* – 2,7 тр./м; *max.* – 4,2 тр./м. Содержание свободного кремнезема SiO_2 : *min.* – 31,6%; *max.* – 43,3%.

Таблица 2

Физико-механические свойства алевролитов

Глубина залегания, м	Влажность, W_m , %	Временное сопротивление сжатию, $\sigma_{сж.}$		Временное сопротивление растяжению, $\sigma_{раст.}$		Величина сцепления в куске, т/м ²	Объемная масса, г/см ³	Плотность, г/см ³	Угол внутреннего трения, град.
		кг/см ²	МПа	кг/см ²	МПа				
50	-	234	23,4	-	-	90	-	-	33
50–100	4,4	<u>508–710</u> 606	<u>50,8–71,0</u> 60,6	49	4,9	270	2,54	2,72	33
100–200	3,3	<u>469–688</u> 586	<u>46,9–68,8</u> 58,6	<u>16–33</u> 24	<u>1,6–3,3</u> 2,4	430	2,55	2,72	33
200–300	2,7	<u>617–747</u> 666	<u>61,7–74,7</u> 66,6	<u>21–56</u> 47	<u>2,1–5,6</u> 4,7	550	2,57	2,74	33
300–400	1,8	-	-	<u>22–53</u> 42	<u>2,2–5,3</u> 4,2	600	2,66	2,83	33

Примечание.

В числителе: минимум – максимум, в знаменателе – среднее значение.

Величина абразивности: *min.* – 0,1 г/т; *max.* – 5,6 г/т (в среднем 1,2 г/т). Трещиноватость: *min.* – 1,3 тр./м; *max.* – 1,7 тр./м при карбонатно-глинистом и глинистом цементе и *min.* – 2,7 тр./м; *max.* – 4,2 тр./м для выветрелых пород (до глубины 50 м). Содержание свободного кремнезема SiO_2 : *min.* – 25,5%; *max.* – 51,9%.

Таблица 3

Физико-механические свойства аргиллитов

Глубина залегания, м	Влажность, W_m , %	Временное сопротивление сжатию, $\sigma_{сж.}$		Временное сопротивление растяжению, $\sigma_{раст.}$		Величина сцепления в куске, т/м ²	Объемная масса, г/см ³	Плотность, г/см ³	Угол внутреннего трения, град.
		кг/см ²	МПа	кг/см ²	МПа				
10–50	-	75–250	7,5–25,0	-	-	-	-	-	28
50–100	-	250–345	25,0–34,5	-	-	-	-	-	28
100–200	3,2	441	44,1	25	2,5	470	2,32	2,55	28
200–300	3,4	-	-	-	-	570	2,65	2,88	28
300–400	2,8	390	39,0	16	1,6	610	2,55	-	28

Примечание.

Величина абразивности составляет: *min.* – 0,9 г/т; *max.* – 2,2 г/т (в среднем 1,6 г/т). Трещиноватость: *min.* – 3,3 тр./м; *max.* – 5,9 тр./м. Содержание свободного кремнезема SiO_2 : *min.* – 37,4%; *max.* – 39,1%.

ное количество фтора $3,0\text{--}8,0\text{ мг/дм}^3$ ($2,0\text{--}5,0$ ПДК), свинца $0,1\text{--}0,318\text{ мг/дм}^3$. Уровень вод, преимущественно слабонапорных, располагается на глубинах $1,9\text{--}12,8\text{ м}$.

Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и наиболее активно происходит в пределах положительных форм рельефа в районах обнажения водовмещающих пород. Главную роль в питании подземных вод района играют осадки осенне-зимне-весеннего периода. В теплый период (летний), ввиду высокого дефицита влажности, атмосферные осадки расходуются на испарение и транспирацию растениями.

Содержание микроэлементов в подземных водах изменяется в широких пределах и зависит от следующих основных факторов: литологического состава пород зоны аэрации, водовмещающих пород, геомеханических условий, содержания в породах рудных компонентов и уровня техногенного загрязнения подземных вод. Максимальные содержания некоторых экологически токсичных микроэлементов в подземных водах нередко превышают предельно-допустимые концентрации.

В настоящее время на разрезе «Восточный» ФАО «ЕЭК» для повышения устойчивости высоких породных отвалов применяются следующие мероприятия:

1. Отсыпка предотвалов.

В данном случае устойчивость отвалов обеспечивается за счет пригрузки породных площадей, прилегающих к отвальным откосам. Обычно предотвал сооружается до отсыпки основного отвала с последующим заполнением пространства между предотвалом и основным отвалом. Устойчивость отвала находится в зависимости от высоты предотвала, т. к. с увеличением высоты предотвала выполаживается общий угол откоса отвала. Данное мероприятие также имеет целью изолирование углесодержащих пород, уложенных в предотвал плотным слоем инертного материала, практически полностью исключающего активные окислительные процессы в породах, склонных к самонагреванию.

2. Инженерная подготовка оснований отвалов.

При инженерной подготовке основания отвалов выполняют одно из следующих мероприятий:

- *террасирование почвы при наклонном основании отвала;*
- *удаление слабого слоя при мощности его до $2,0\text{ м}$ (рис. 1);*
- *устройство противооползневых выемок специальной формы (рис. 2) с учетом минимальной ширины отвальной заходки.*

На рис. 1 приведено удаление слабого слоя на площадке формирования первого яруса отвала «Конвейерный» разреза «Восточный» ФАО «ЕЭК».

На рис. 2 приведено устройство противооползневых выемок специальной формы.

Инструментальное наблюдение за поверхностью отвала «Конвейерный» разреза «Восточный» с помощью БПЛА приведено на рис. 3.

На рис. 4 приведена конструкция противооползневых выемок специальной формы с шагом устройства равной минимальной ширине отвальной заходки.



Рис. 1. Удаление слабого слоя на площадке формирования первого яруса отвала «Конвейерный» разреза «Восточный» – ФАО «ЕЭК».



Рис. 2. Устройство противооползневых выемок специальной формы.

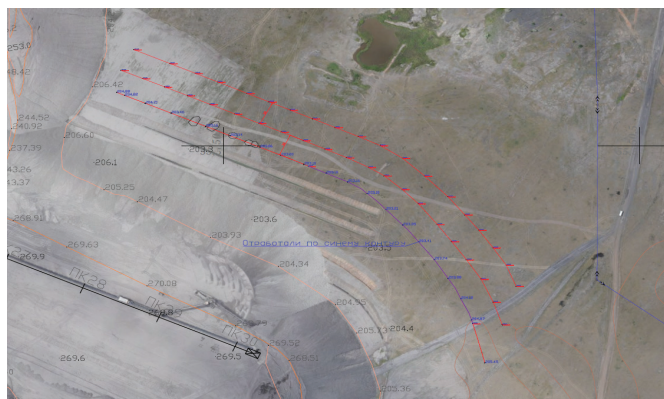


Рис. 3. Инструментальное наблюдение за поверхностью отвала «Конвейерный» разреза «Восточный» с помощью БПЛА.

Характеристика обрабатываемых вскрышных пород, распределение пород по литологическим разностям приведены в таблице 4.

В отвал «Конвейерный» разреза «Восточный» складываются разнородные породы, которые перемешиваются в процессе отсыпки, в результате чего образуется качественно новая масса с иными свойствами, чем исходные компоненты. При этом размеры кусков после дробления варьируются от 0 до 300 мм.

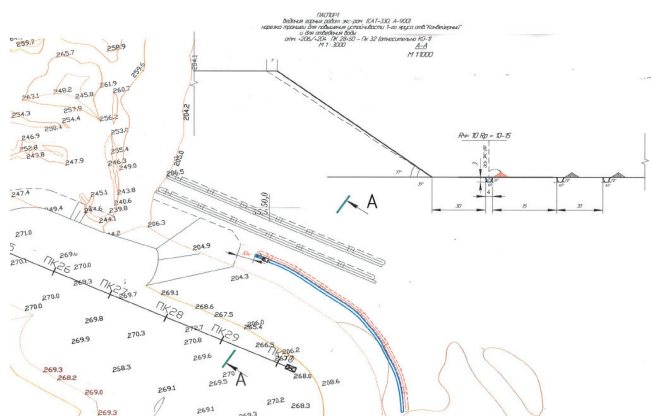


Рис. 4. Конструкция противооползневых выемок специальной формы.

Таблица 4

Распределение пород по литологическим разностям

Наименование пород	Относительное участие, %	Средняя мощность слоев, м
Песчаник	38,2	5,8
Алеврит	27,5	3,6
Аргиллит	15,1	2,3
Переслаивание пород	11,2	4,2
Углистая порода	2,9	0,7
Углистые сланцы	2,4	2,1
Уголь (нерабочие пласты)	1,6	0,4
Покровные отложения (песок, суглинок, глина)	1,0	2,4 (от 0,3 до 4,5)

Влажность пород внешней вскрыши – 5–10%.

Средняя объемная масса (плотность) внешней вскрыши 2,3 т/м³.

Объемная масса пород на карбонатно-глинистом цементе:

песчаник – 2,12 т/м³; алеврит – 2,41 т/м³, аргиллит – 2,04 т/м³.

По результатам инженерно-геологических исследований поверхности формирования отвала физико-механи-

ческие свойства грунтов следующие: естественная влажность 16–35%, удельная плотность 2,74 г/см³, объемная плотность 1,79–1,89 г/см³. Плотность сухого грунта 1,43–1,55 г/см³, коэффициент пористости 0,78–0,96, пористость 43,1–47,8%, пределы текучести 0,41–0,60, раскатывания 0,19–0,24, число пластичности 0,20–0,36. Коэффициент сдвига ($tg\phi$) 0,249–0,322; угол внутреннего трения (ρ^0) 14°–18°; удельное сцепление 0,42–0,56 кг/см². Модуль деформации (E) при естественной влажности равен в среднем 66–83 кг/см², при замачивании снижается до 60 кг/см². Грунты обладают слабой просадочностью, но это не оказывает негативных последствий при складировании вскрышных пород.

По вышеуказанным факторам все внешние отвалы разреза «Восточный» – ФАО «ЕЭК» равноценны по составу вскрышных пород, складированных в отвалы, что дает возможность проецировать установленные параметры внешних высоких отвалов.

При моделировании и принятии решений по максимальным параметрам отвальных ярусов учитывались следующие, известные из практики, сведения:

- при различных технологических условиях формирования отвала с использованием горно-транспортного оборудования высота отдельных ярусов может составлять от 28,0 до 90,0 м;

- для смешанных нагруженных скальных и полускальных пород отвала коэффициент устойчивости ярусов и отвала требуется принимать в интервале 1,2–1,3.

Необходимо отметить, что для повышения надежности расчетных параметров яруса к учету принимались варианты, в результате расчета которых величина коэффициента запаса устойчивости n составила не ниже 1,4.

В частности, в результате многолетних наблюдений и расчетных материалов по безопасным устойчивым параметрам внешних отвалов, отвал «Конвейерный» разреза «Восточный» ФАО «ЕЭК» формируется со следующими значениями:

- первый ярус: высота 90,0 м; ширина бермы 100,0 м; угол откоса яруса 35°, коэффициент запаса устойчивости 1,4;

- второй ярус: высота 75,0 м; ширина бермы 100,0 м; угол откоса яруса 35°; коэффициент запаса устойчивости 1,4.

Принятые технические решения подтверждены стабильным состоянием отвальных ярусов.



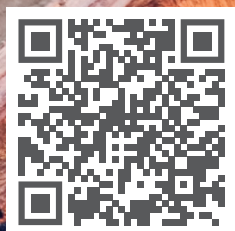
TECH MINING
KAZAKHSTAN

7 октября **2026**

**4-я международная
конференция и выставка**

Алматы

**ТЕХНОЛОГИИ И
ИННОВАЦИИ ДЛЯ
ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**



kazakhstan.techmining.ru

Код МРНТИ 36.01.81

*Б. Мынгжасаров¹, Ш. К. Айтказинова¹, Д. М. Киргизбаева¹, Н. А. Милетенко²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНТУ) им. К. И. Сатпаева
(г. Алматы, Казахстан),

²Институт проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН) им. академика Н. В. Мельникова
(г. Москва, Россия)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В статье представлены результаты мониторинга деформационных процессов гидротехнических сооружений Капчагайской гидроэлектростанции (ГЭС), расположенной в Алматинской области Республики Казахстан. Исследование направлено на обеспечение безопасной эксплуатации сооружений посредством геодезического мониторинга с применением современных технологий, включая спутниковые системы и высокоточные электронные тахеометры. Рассмотрено применение высокоточного тригонометрического нивелирования для определения вертикальных деформаций. Установлено, что при соблюдении соответствующей методики измерений современные автоматизированные электронные тахеометры обеспечивают требуемую точность геодезического мониторинга. По результатам наблюдений на деформационном створе Капчагайской ГЭС выявлено, что коэффициент вертикальной рефракции изменяется во времени и имеет тенденцию к увеличению в дневной период. Полученные результаты могут быть использованы для повышения безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений и снижения рисков, связанных с сейсмической активностью региона.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, деформационный мониторинг, электронный тахеометр, вертикальные деформации, вертикальная рефракция, точность измерений.

Гидротехникалық құрылыстардың деформациялық мониторингінде жоғары дәлдікті электрондық тахеометрді қолдану тәжірибесі

Аннотация. Мақалада Қазақстан Республикасының Алматы облысында орналасқан Қапчагай су электр станциясының (СЭС) гидротехникалық құрылыстарындағы деформациялық процестерді мониторингтеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу заманауи геодезиялық технологияларды, соның ішінде спутниктік жүйелер мен жоғары дәлдікті электрондық тахеометрлерді қолдану арқылы құрылыстардың қауіпсіз пайдаланылуын қамтамасыз етуге бағытталған. Тік деформацияларды анықтау кезінде жоғары дәлдікті тригонометриялық нивелирлеуді қолдану қарастырылған. Тиісті өлшеу әдістемесі сақталған жағдайда заманауи автоматтандырылған электрондық тахеометрлер геодезиялық мониторингтің қажетті дәлдігін қамтамасыз ететіні анықталған. Қапчагай СЭС-нің деформациялық створында жүргізілген бақылаулар нәтижесінде тік рефракция коэффициентінің уақыт бойынша өзгеретіні және күндізгі кезеңде ұлғаю үрдісі байқалатыны анықталды. Алынған нәтижелер гидротехникалық құрылыстардың пайдалану қауіпсіздігін арттыруға және өнімнің сейсмикалық белсенділігімен байланысты тәуекелдерді төмендетуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: гидротехникалық құрылыстар, деформациялық мониторинг, электрондық тахеометр, тригонометриялық нивелирлеу, тік деформациялар, тік рефракция, геодезиялық бақылаулар, өлшеу дәлдігі.

Experience in using a high-precision electronic total station for deformation monitoring of hydraulic structures

Abstract. The article presents the results of monitoring deformation processes in the hydraulic structures of the Kapchagay Hydroelectric Power Plant (HPP), located in the Almaty Region of the Republic of Kazakhstan. The study is aimed at ensuring the safe operation of hydraulic structures through geodetic monitoring using modern technologies, including satellite systems and high-precision electronic total stations. The application of high-precision trigonometric leveling for determining vertical deformations is considered. It is established that, when appropriate measurement procedures are followed, modern automated electronic total stations provide the accuracy required for geodetic monitoring. Observations conducted along the deformation alignment of the Kapchagay HPP showed that the vertical refraction coefficient varies over time and tends to increase during the daytime. The results can be used to improve the operational safety of hydraulic structures and reduce risks associated with seismic activity in the region.

Key words: hydraulic structures, deformation monitoring, electronic total station, vertical deformations, vertical refraction, measurement accuracy.

Введение

Гидроэнергетика представляет собой значимый сектор стратегии Казахстана по диверсификации всего энергетического направления страны. В этом контексте особенно интересна Капчагайская ГЭС имени Ш. Чокина – единственная гидроэлектростанция на реке Или. Строительство основных сооружений гидроузла было начато в 1966 году, река Или была перекрыта 29 сентября 1969 года, первый гидроагрегат станции был пущен 22 декабря 1970 года, последний – 22 декабря 1971 года. В 1980 году строительство ГЭС было окончательно завершено.

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

тации таких стратегических и ответственных инженерных сооружений, как Капчагайская ГЭС, достигается проведением геодезического мониторинга.

В этом отношении изучение геодинамического состояния урбанизированных территорий традиционными методами трудоемко и поэтому для таких участков исключительно необходим геодезический мониторинг с высокоточными приборами и они представляют значительный практический интерес.

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений является одной из важнейших задач современного инженерно-геодезического мониторинга. В процессе длительной эксплуатации гидротехнические объекты подвергаются воздействию комплекса природных и техногенных факторов, способных вызывать пространственные смещения и деформации отдельных конструктивных элементов. Своевременное выявление таких изменений позволяет оценить техническое состояние сооружения, определить тенденции развития деформационных процессов и принять необходимые меры по предупреждению аварийных ситуаций [1, 2].

Особое значение при мониторинге гидротехнических сооружений имеет контроль вертикальных перемещений. Традиционно для определения осадок применяется высокоточное геометрическое нивелирование, обеспечивающее необходимую точность измерений. Вместе с тем выполнение геометрического нивелирования на крупных гидротехнических объектах нередко связано со значительными трудовыми и временными затратами, а особенности расположения деформационных марок и условия эксплуатации сооружений могут существенно затруднять проведение измерений.

Развитие современных геодезических технологий и совершенствование электронных тахеометров высокой точности расширяют возможности применения тригонометрического нивелирования при деформационных наблюдениях. Автоматизация процесса измерения углов и расстояний, высокая точность современных приборов и возможность оперативной обработки результатов позволяют рассматривать высокоточное тригонометрическое нивелирование как перспективный метод определения вертикальных перемещений инженерных сооружений. Однако точность тригонометрического нивелирования в значительной степени зависит от влияния внешних условий. Одним из наиболее существенных факторов является вертикальная рефракция, обусловленная неоднородностью приземного слоя атмосферы и изменением температурного градиента воздуха. Влияние рефракции особенно заметно при высокоточных измерениях и может приводить к систематическим искажениям результатов определения превышений. В связи с этим исследование характера изменения коэффициента вертикальной рефракции и оценка его влияния на результаты измерений представляют значительный практический интерес [3, 4].

Целью настоящего исследования является оценка возможности применения высокоточного электронного тахеометра для определения вертикальных деформаций гидротехнических сооружений методом тригонометрического нивелирования и исследование влияния вертикальной рефракции на точность геодезических измерений.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на гидротехнических сооружениях Капчагайской гидроэлектростанции. Общий вид исследуемого гидротехнического сооружения представлен на рис. 1.

В качестве объекта экспериментальных исследований выбран деформационный створ, расположенный на трансформаторной площадке гидроузла. Существующая система геодезического контроля включает опорные и деформационные пункты, предназначенные для наблюдений за вертикальными перемещениями сооружения.

Для оценки возможности применения высокоточного тригонометрического нивелирования были выполнены сравнительные геодезические измерения. В качестве эталонного метода использовалось высокоточное геометрическое нивелирование. Измерения проводились цифровым нивелиром DiNi 0.3, обеспечивающим высокую точность определения превышений. Тригонометрическое



Рис. 1. Место расположения створной линии на трансформаторной площадке Капчагайской ГЭС.

Сурет 1. Қапшағай СЭС трансформаторлық алаңындағы створлық сызықтың орналасқан жері.

Figure 1. Location of the alignment line on the transformer site of the Kapchagay HPP.

нивелирование выполнялось высокоточным электронным тахеометром Leica TCR 1201+. Технические характеристики прибора позволяют проводить угловые и линейные измерения с высокой точностью, что является необходимым условием при определении малых вертикальных перемещений инженерных сооружений [5].

Результаты и обсуждение

Измерения выполнялись на пунктах деформационного створа по специально разработанной программе наблюдений. Схема расположения пунктов створа на трансформаторной площадке представлена на рис. 2.

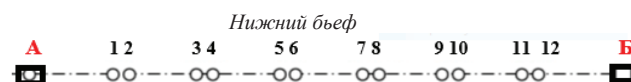


Рис. 2. Схема расположения пунктов створа на трансформаторной площадке.

Сурет 2. Трансформаторлық алаңдағы створ пункттерінің орналасу сұлбасы.

Figure 2. Layout of the alignment points on the transformer site.

Положение электронного тахеометра и визирных целей выбиралось с учетом обеспечения устойчивой линии визирования и минимизации влияния локальных препятствий на результаты измерений. При проведении экспериментальных работ особое внимание уделялось точности измерения вертикальных углов [6].

Наблюдения выполнялись многократными приемами при двух положениях вертикального круга тахеометра. Такой порядок измерений позволил снизить влияние инструментальных погрешностей и повысить надежность определения средних значений вертикальных углов.

Превышения между наблюдаемыми пунктами определялись методом тригонометрического нивелирования с учетом измеренного наклонного расстояния, вертикального угла, высоты прибора и высоты отражателя. Расчет превышений выполнялся по формуле (1):

$$k = 1 - \frac{2R}{S^2}(h - S \operatorname{tg} \alpha), \quad (1)$$

где R – радиус Земли (6371 км);

h – превышение между концами базиса из геометрического нивелирования, мм;

S – длина базиса, м;

α – измеренный угол наклона, в градусах.

Для оценки точности полученных результатов значения превышений, определенные методом тригонометрического нивелирования, сопоставлялись с результатами высокоточного геометрического нивелирования. Результаты геометрического нивелирования приведены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты геометрического нивелирования

Кесте 1
Геометриялық нивелирлеу нәтижелері

Table 1
Results of geometric leveling

Направление хода	Время, часы и мин	Число штативов	Превышение, мм	Среднее, мм
Прямо	7:30	7	+2057,0	2056,75
Обратно	18:20	8	- 2056,5	

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на точность высокоточного тригонометрического нивелирования, является вертикальная рефракция. Для исследования ее влияния проводились многократные наблюдения в течение дневного периода.

Коэффициент вертикальной рефракции определялся на основании результатов тахеометрических измерений и известных превышений между наблюдаемыми пунктами по формуле (2):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{S} - \frac{S}{2R}, \quad (2)$$

В процессе экспериментальных наблюдений фиксировалось время выполнения измерений, что позволило установить характер изменения коэффициента вертикальной рефракции в течение исследуемого периода. Полученные данные использовались для оценки устойчивости результатов тригонометрического нивелирования и определения условий выполнения высокоточных геодезических измерений [7].

Таким образом, примененная методика исследований основана на сравнительном анализе результатов высокоточного геометрического и тригонометрического нивелирования и позволяет оценить точностные возможности электронного тахеометра при мониторинге вертикальных деформаций гидротехнических сооружений.

Результаты выполненных экспериментальных исследований показали, что применение высокоточного электронного тахеометра позволяет определять превышения между пунктами деформационного створа с точностью, необходимой для решения задач геодезического монито-

ринга гидротехнических сооружений. Сравнение результатов тригонометрического нивелирования с данными высокоточного геометрического нивелирования показало хорошую согласованность полученных значений. Незначительные расхождения между результатами измерений обусловлены совокупным влиянием погрешностей измерения вертикальных углов, определения расстояний, установки прибора и отражателя, а также воздействием внешних атмосферных факторов [8].

Анализ многократных измерений вертикальных углов показал, что использование высокоточного электронного тахеометра Leica TCR 1201+ обеспечивает устойчивые результаты наблюдений. Выполнение измерений при двух положениях вертикального круга и определение среднего значения вертикального угла позволяют существенно уменьшить влияние инструментальных погрешностей. Вместе с тем экспериментальные исследования подтвердили, что одним из наиболее существенных факторов, ограничивающих точность тригонометрического нивелирования, является вертикальная рефракция. Изменение температурного состояния приземного слоя атмосферы приводит к искривлению визирного луча и, как следствие, к изменению измеряемого вертикального угла.

В ходе наблюдений установлено, что коэффициент вертикальной рефракции не является постоянной величиной и существенно изменяется в течение периода измерений. Полученные значения коэффициента находились в диапазоне от -0,14 до +0,81. Характер изменения коэффициента вертикальной рефракции в течение периода наблюдений представлен на рис. 3.

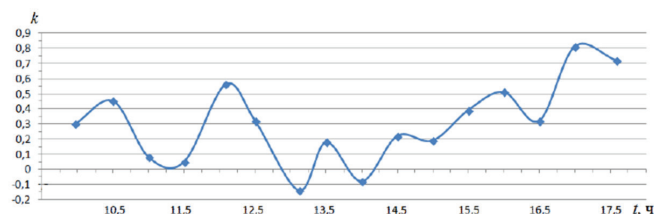


Рис. 3. Изменение коэффициента вертикальной рефракции в течение периода наблюдений.

Сурет 3. Бақылау кезеңіндегі тік рефракция коэффициентінің өзгеруі.

Figure 3. Variation of the vertical refraction coefficient during the observation period.

Анализ полученной зависимости показывает общую тенденцию к увеличению коэффициента вертикальной рефракции в дневное время. Это связано с изменением температурного градиента в приземном слое воздуха вследствие прогрева поверхности сооружения и прилегающей территории. При этом отдельные кратковременные колебания коэффициента могут быть обусловлены локальными изменениями метеорологических условий и неоднородностью воздушной среды вдоль линии визирования [9].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование постоянного значения коэффициента вертикальной рефракции при обработке высокоточных

тригонометрических измерений может приводить к дополнительным систематическим погрешностям. Поэтому при выполнении деформационного мониторинга гидротехнических сооружений необходимо учитывать фактическое изменение рефракционных условий в период наблюдений.

Для снижения влияния вертикальной рефракции целесообразно выполнять измерения в периоды относительно устойчивого состояния приземного слоя атмосферы. Кроме того, повышение надежности результатов может быть обеспечено многократными наблюдениями вертикальных углов, выполнением измерений при двух положениях вертикального круга и сокращением временного интервала между последовательными измерениями на пунктах деформационного створа. Сопоставление результатов высокоточного геометрического и тригонометрического нивелирования подтверждает возможность применения современных электронных тахеометров для определения вертикальных перемещений гидротехнических сооружений. При использовании соответствующей методики наблюдений и учете влияния вертикальной рефракции тригонометрическое нивелирование может рассматриваться как эффективный и оперативный метод геодезического деформационного мониторинга [10].

Таким образом, результаты проведенных исследований подтверждают перспективность использования высокоточных электронных тахеометров при мониторинге гидротехнических сооружений. Применение автома-

тизированных измерительных технологий позволяет повысить оперативность геодезических наблюдений и сократить трудоемкость полевых работ при сохранении требуемой точности определения вертикальных деформаций.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили возможность применения высокоточного электронного тахеометра для деформационного мониторинга гидротехнических сооружений.

1. Высокоточное тригонометрическое нивелирование обеспечивает определение вертикальных деформаций с точностью, достаточной для мониторинга гидротехнических сооружений.

2. Результаты тригонометрического нивелирования хорошо согласуются с данными высокоточного геометрического нивелирования, что подтверждает надежность метода.

3. На точность измерений существенное влияние оказывает вертикальная рефракция, коэффициент которой изменяется во времени и должен учитываться при обработке результатов.

4. Для повышения точности наблюдений рекомендуется выполнять многократные измерения, учитывать фактические рефракционные условия и проводить наблюдения при наиболее стабильном состоянии приземного слоя атмосферы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС / В. Г. Сальников [и др.] // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23. – № 3. – С. 108–124 (на русском языке)
2. Правила технической эксплуатации гидротехнических сооружений водного хозяйства: приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 31.03.2015 г. № 19-4/286. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 30.06.2015 г. № 11478 (на русском языке)
3. СН РК 8.02-05-2020. Гидротехнические сооружения. Основные требования. – Нур-Султан: МИИР РК, 2020. – 68 с. (на русском языке)
4. Мониторинг деформационных процессов земной поверхности и объектов строительства на территории нефтяных месторождений / М. Nurpeisova [и др.] // Eurasian mining. – 2021. – №. 2. – С. 86–91 (на английском языке)
5. Постоянный пункт принудительного центрирования приборов: пат. РК № 10736 от 20.06.2025 / Мейрамбек Г., Нурпеисова М. Б., Рысбеков К. Б., Солтабаева С. Т., Ормамбеков Е. Ж., Кыргызбаева Д. М. (на русском языке)
6. Оценка состояния плотин при различных экологических условиях с применением методов мониторинга конструкций: обзор современного состояния / А. Sivasuriyan [и др.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Т. 29. – № 57. – С. 86180–86191 (на английском языке)
7. Исследование влияния метеорологических факторов на точность геодезических измерений / М. Б. Нурпеисова [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 6. – С. 18–24 (на русском языке)
8. Влияние метеорологических факторов на точность результатов мониторинга / М. Nurpeisova [и др.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences. – 2023. – № 5. – С. 179–189 (на английском языке)
9. Свидетельство РК № 39036 о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты авторского права (произведения науки). Учет метеорологических факторов при мониторинге инженерных сооружений / Нурпеисова М. Б., Мынгжасаров Б., Кыргызбаева Д. М. – 14.10.2023 (на русском языке)

10. Мынжасаров Б., Кыргызбаева Д., Орманбекова А., Нукарбекова Ж. Геодезический мониторинг деформационных процессов Капчагайской гидроэлектростанции // *Материалы Международной научно-технической конференции «Перспективы применения цифровых технологий в рациональном и безопасном недропользовании»*, Ташкент, 8–9 октября 2024 г. – С. 56–60 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гидроэлектр станцияларының гидротехникалық құрылыстарын мониторингтеуде заманауи автоматтандырылған геодезиялық аспаптарды қолдану / В. Г. Сальников [және т. б.] // *СГУГуТ хабаршысы*. – 2018. – Т. 23. – № 3. – Б. 108–124 (орыс тілінде)
2. Су шаруашылығы гидротехникалық құрылыстарын техникалық пайдалану қағидалары: Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрінің 2015 жылғы 31 наурыздағы № 19-4/286 бұйрығы. Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінде 2015 жылғы 30 маусымда № 11478 болып тіркелген (орыс тілінде)
3. ҚР ҚН 8.02-05-2020. Гидротехникалық құрылыстар. Негізгі талаптар. – Нұр-Сұлтан: ҚР ИИДМ, 2020. – 68 б. (орыс тілінде)
4. Мұнай кен орындары аумағындағы жер беті мен құрылыс нысандарының деформациялық процестерін мониторингтеу / М. Nurpeisova [және т. б.] // *Eurasian Mining*. – 2021. – № 2. – Б. 86–91 (ағылшын тілінде)
5. Патент ҚР № 10736, 20.06.2025 ж. Аспаптарды мәжбүрлі центрлеуге арналған тұрақты пункт / Мейрамбек Г., Нурпеисова М. Б., Рысбеков К. Б., Солтабаева С. Т., Орманбеков Е. Ж., Кыргызбаева Д. М. (орыс тілінде)
6. Құрылымдарды мониторингтеу әдістерін қолдана отырып, әртүрлі экологиялық жағдайларда бөгеттердің жай-күйін бағалау: қазіргі жағдайға шолу / А. Sivasuriyan [және т. б.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Т. 29. – № 57. – Б. 86180–86191 (ағылшын тілінде)
7. Метеорологиялық факторлардың геодезиялық өлшеулер дәлдігіне әсерін зерттеу / М. Б. Нурпеисова [және т. б.] // *Маркшейдерия және жер қойнауын пайдалану*. – 2023. – № 6. – Б. 18–24 (орыс тілінде)
8. Метеорологиялық факторлардың мониторинг нәтижелерінің дәлдігіне әсері / М. Nurpeissova [және т. б.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences*. – 2023. – № 5. – Б. 179–189 (ағылшын тілінде).
9. ҚР № 39036 куәлігі. Ғылым туындысы объектісіне құқықтар туралы мәліметтерді мемлекеттік тізілімге енгізу туралы. Инженерлік құрылыстарды мониторингтеу кезінде метеорологиялық факторларды есепке алу / Нурпеисова М. Б., Мынжасаров Б., Кыргызбаева Д. М. – 14.10.2023 ж. (орыс тілінде)
10. Мынжасаров Б., Кыргызбаева Д., Орманбекова А., Нукарбекова Ж. Қапшағай гидроэлектр станциясының деформациялық процестерін геодезиялық мониторингтеу // «Жер қойнауын ұтымды және қауіпсіз пайдалануда цифрлық технологияларды қолдану перспективалары» халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының материалдары. – Ташкент, 8–9 қазан 2024 ж. – Б. 56–60 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Primenenie sovremennykh avtomatizirovannykh geodezicheskikh priborov dlya monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy GES [Application of Modern Automated Surveying Instruments for Monitoring Hydrotechnical Structures of Hydroelectric Power Plants]* V. G. Salnikov et al. *Vestnik SGUGiT [Bulletin of SSUGT]*. – 2018. – Vol. 23. – No. 3. – P. 108–124 (in Russian)
2. *Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii vodnogo khoziaistva. Prikaz Ministra sel'skogo khoziaistva Respubliki Kazakhstan ot 31.03.2015, No. 19-4/286. Zaregistririvan v Ministerstve iustitsii Respubliki Kazakhstan 30.06.2015, No. 11478 [Rules for the Technical Operation of Hydrotechnical Structures of Water Management Facilities. Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan No. 19-4/286 dated March 31, 2015. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on June 30, 2015, No. 11478]* (in Russian)
3. *SN RK 8.02-05-2020. Gidrotekhnicheskie sooruzheniia. Osnovnye trebovaniia [Hydrotechnical Structures. Basic Requirements]*. Nur-Sultan: MIIR RK, 2020. – 68 p. (in Russian)
4. *Monitoring of Deformation Processes of the Earth Surface and Construction Facilities in the Territory of Oil Fields* / M. Nurpeissova et al. // *Eurasian Mining*. – 2021. – No. 2. – P. 86–91 (in English)
5. *Patent RK No. 10736 dated 20.06.2025. Postoiannyi punkt prinuditel'nogo tsentrirovaniia priborov [Permanent Forced-Centering Point for Surveying Instruments]* / Meirambek, G., Nurpeisova, M.B., Rysbekov, K.B., Soltabaeva, S.T., Ormambekov, E.Zh., Kyrgyzbaeva, D.M. (in Russian)

6. *Health assessment of dams under various environmental conditions using structural health monitoring techniques: a state-of-the-art review* / A. Sivasuriyan et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Vol. 29. – No. 57. – P. 86180–86191 (in English)
7. *Issledovanie vliyaniya meteorologicheskikh faktorov na tochnost' geodezicheskikh izmereniy* [Study of the Influence of Meteorological Factors on the Accuracy of Geodetic Measurements] M. B. Nurpeissova et al. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use]. – 2023. – No. 6. – P. 18–24 (in Russian)
8. *Influence of Meteorological Factors on the Accuracy of Monitoring Results* / M. Nurpeissova et al. // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences*. – 2023. – No. 5. – P. 179–189 (in English)
9. *Svidetel'stvo Respubliki Kazakhstan No. 39036 o vnesenii svedenii v Gosudarstvennyi reestr prav na ob"ekty (proizvedeniia nauki). Uchet meteorologicheskikh faktorov pri monitoringe inzhenernykh sooruzhenii* [Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 39036 on the Entry of Information into the State Register of Rights to Objects (Scientific Works). Accounting for Meteorological Factors in the Monitoring of Engineering Structures] / Nurpeissova, M.B., Myngzhasarov, B., Kirgizbaeva, D.M. October 14, 2023 (in Russian)
10. Myngzhasarov, B., Kirgizbaeva, D., Ormanbekova, A., Nukarbekova, Zh. *Geodezicheskii monitoring deformatsionnykh protsessov Kapchagaiskoi gidroelektrostantsii* [Geodetic Monitoring of Deformation Processes at the Kapchagay Hydroelectric Power Plant] // In: *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Perspektivy primeneniia tsifrovyykh tekhnologii v ratsional'nom i bezopasnom nedropol'zovanii»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Prospects for the Application of Digital Technologies in Rational and Safe Subsoil Use»]. Tashkent, 8–9 October 2024. – P. 56–60 (in Russian)

Сведения об авторах:

Мыңжасаров Б., Ph.D докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University), (г. Алматы, Казахстан), bakha1000@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6912-23-03>

Айтказинова Ш. К., Ph.D, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан), sh.aitkazanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0964-3008>

Киргизбаева Д. М., Ph.D, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University), d.kirgizbaeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-5043-4275>

Милетенко Н. А., канд. техн. наук, ст. научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н. А. Мельникова (г. Москва, Россия), nmilet@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9912-5529>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мыңжасаров Б., Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Айтказинова Ш. К., Ph.D, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдас. профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Киргизбаева Д. М., Ph.D, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдас. профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Милетенко Н. А., техника ғылымдарының кандидаты, академик Н. А. Мельников атындағы жер қойнауын кешенді игеру мәселелері институтының аға ғылыми қызметкері (Мәскеу қ., Ресей)

Information about the authors:

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

Aitkazanova Sh. K., Ph.D Candidate of Technical Sciences, Professor at the K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

Kirgizbayeva D. M., Ph.D Candidate of Technical Sciences, Professor at the K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

Miletenko N. A., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Academician N. A. Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (Moscow, Russia)

VISIT US IN ALMATY,
BOOTH 427, HALL 11

miningmetals
CENTRAL ASIA

SiMATEC



ENGINEERED TO MOVE MOUNTAINS

**НЕМЕЦКИЙ ИНЖИНИРИНГ.
ШВЕЙЦАРСКОЕ КАЧЕСТВО.
БЛИЖЕ К ЗАКАЗЧИКУ.**

Simatec разрабатывает комплексные решения для горнодобывающей промышленности — от отдельных машин до технологических линий и систем «под ключ». Немецкая инженерная экспертиза, швейцарские стандарты качества и строгий контроль на каждом этапе обеспечивают надёжность оборудования и стабильность производственных процессов.

НАШИ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Решения, адаптированные к задачам заказчика
- Опыт работы с различными рудами и минералами
- Инжиниринг, производство и ввод в эксплуатацию из одних рук
- Надёжное оборудование с длительным сроком службы
- Техническая поддержка на всех этапах проекта

Мы расширяем своё присутствие в Центральной Азии и готовим открытие представительства Si-matec в Казахстане — чтобы быть ближе к нашим заказчикам и оперативнее решать их задачи.

НАШИ КОМПЕТЕНЦИИ:

- ОБРАТНАЯ ЗАСЫПКА
- ПРОХОДКА СПОСОБОМ БВР
- РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И ОБОГАЩЕНИЯ
- РЕШЕНИЕ ДЛЯ СКЛАДОВ
- МАГИСТРАЛЬНЫЕ КОНВЕЙЕРА/ ЦПТ
- РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ
- ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ
- ПОГРУЗКА НА СУДА И Ж/Д

Simatec Maschinenbau AG
Technikumstrasse 1 . CH-6048 Horw
+41 41 349 40 30 . info@simatec.org
www.simatec.org



Код МРНТИ 36.23.25

Г. Мейрамбек, *М. М. Уйсен
 Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

ГАЗ ЖӘНЕ ЖҚЗ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ МАҢҒЫСТАУ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЖЕР ҚОЙНАУЫН ПАЙДАЛАНУ МЕН ЖЕРЛЕРДІҢ БҰЗЫЛУЫНЫҢ ГЕОКЕҢІСТІКТІК МОНИТОРИНГІ

Аннотация. Мақалада Маңғыстау облысының жер ресурстарын мониторингтеу және жер қойнауын пайдаланушылардың қызметін бақылау үшін геоаппараттық жүйелерді (ГАЗ) және Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) деректерін қолдану мүмкіндіктері қарастырылған. KazEOSat-1 және KazEOSat-2 спутниктерінен алынған ғарыштық суреттер негізінде бірыңғай геоаппараттық деректер базасы қалыптастырылып, мониторинг нәтижелерін визуализациялауға, сақтауға және кеңістіктік талдауға арналған мамандандырылған геопортал әзірленді. Кен орындарын игерудің нақты шекаралары лицензиялық учаскелермен салыстырылды. Келісімшарттық аумақтардан тыс жұмыстар жүргізу, жерді өз бетінше пайдалану және экологиялық ластану (мұнаймен ластану) учаскелері анықталды. Нәтижелер ГАЗ бен ЖҚЗ деректерін мемлекеттік жер бақылауы, бұзушылықтарды жедел анықтау және экологиялық мониторинг міндеттерінде біріктірудің тиімділігін растайды.

Түйінді сөздер: Жерді қашықтан зондтау, геоаппараттық жүйелер, ArcGIS, KazEOSat, геопортал, жер қойнауын пайдалану, жер мониторингі, кеңістіктік талдау, ғарыштық суреттер, Маңғыстау облысы.

Geospatial monitoring of subsoil use and land disturbance in the Mangystau region using GIS and remote sensing data
Abstract. The article examines the use of geographic information systems (GIS) and Earth remote sensing data for monitoring land resources and controlling the activities of subsoil users in the Mangystau Region. Using satellite imagery from KazEOSat-1 and KazEOSat-2, a unified geoinformation database was created and a specialized geoportol was developed for visualization, storage, and spatial analysis of monitoring results. The actual boundaries of field development were compared with licensed areas. Cases of operations extending beyond contractual territories, unauthorized land use, and areas of environmental pollution, including oil contamination, were identified. The results demonstrate the effectiveness of integrating GIS and remote sensing data for state land control, timely detection of violations, and environmental monitoring.

Key words: remote sensing, GIS, ArcGIS, KazEOSat, geoportol, subsoil use, land monitoring, spatial analysis, satellite imagery, Mangystau Region.

Геопространственный мониторинг недропользования и нарушений земель в Мангистауской области с использованием ГИС и данных ДЗЗ

Аннотация. В статье рассматривается применение геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга земельных ресурсов и контроля деятельности недропользователей Мангистауской области. На основе снимков спутников KazEOSat-1 и KazEOSat-2 сформирована единая геоинформационная база данных и разработан специализированный геопортал для визуализации, хранения и пространственного анализа результатов мониторинга. Выполнено сопоставление фактических границ освоения месторождений с лицензионными участками. Выявлены случаи выхода работ за пределы контрактных территорий, самовольного землепользования и участки экологического загрязнения (замазученность). Результаты подтверждают эффективность интеграции ГИС и данных ДЗЗ для государственного земельного контроля, оперативного выявления нарушений и экологического мониторинга.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, геоинформационные системы, ArcGIS, KazEOSat, геопортал, недропользование, мониторинг земель, пространственный анализ, космические снимки, Мангистауская область.

Кіріспе

Табиғи ресурстарды қарқынды игеру жағдайында жер ресурстарын ұтымды пайдалану, жер қойнауын пайдаланушылардың қызметін бақылау және аумақтардың экологиялық жағдайын бағалау қажеттілігі артып келеді. Жерді қашықтан зондтаудың заманауи технологиялары мен геоаппараттық жүйелер кеңістіктік деректерді жедел алуға және талдауға мүмкіндік береді, бұл жер ресурстарының мониторингі тиімділігін арттыруға және жер пайдалану саласындағы заң бұзушылықтарды анықтауға жағдай жасайды [1–3].

Маңғыстау облысы Қазақстан Республикасының негізгі мұнай-газ өндіруші өңірлерінің бірі болып табылады. Пайдалы қазбаларды өндіру ауқымының өсуі антропогендік жүктеменің артуымен және жерлердің деградациялану тәуекелдерінің күшеюімен қатар жүреді, бұл жер ресурстарын пайдалануды бақылаудың заманауи цифрлық тәсілдерін енгізуді талап етеді [4]. Қазақстанда аумақтардың жай-күйін бағалау және жер пайдалану саласындағы бұзушылықтарды анықтау мақсатында жерлерді ғарыштық мониторингтеудің заманауи әдістері белсенді түрде қолданылуда [5, 6].

Зерттеудің мақсаты – қашықтан зондтау деректері негізінде Маңғыстау облысындағы жер қойнауын пайдалану мен жер ресурстары мониторингінің геоаппараттық жүйесін және нәтижелерді сақтау, талдау мен визуализациялауға арналған мамандандырылған геопортал әзірлеу.

Материалдар мен әдістер

Зерттеуде жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы KazEOSat-1 спутнигінің ғарыштық суреттері және орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы KazEOSat-2 спутнигінің суреттері, мемлекеттік жер кадастрының деректері, жер қойнауын пайдаланушылардың лицензиялық учаскелерінің шекаралары туралы мәліметтер, жер қойнауын пайдалану объектілерінің координаттары, әкімшілік-аумақтық шекаралар және векторлық картографиялық материалдар пайдаланылды [7–9]. Жерді қашықтан зондтау спутниктік платформалар арқылы жер беті туралы кеңістіктік ақпарат алуға мүмкіндік береді, оның жалпы көрінісі 1-суретте көрсетілген.

Кеңістіктік деректерді өңдеу және талдау ArcGIS бағдарламалық ортасында геокеңістіктік талдау құралдары мен Жерді қашықтан зондтау технологияларын пайдалана отырып жүргізілді. Алғашқы кезеңде бастапқы деректер жиналып, жүйеленді және алдын ала өңделді. Ғарыштық суреттерді географиялық байланыстыру жүргізіліп, зерттеу аумағын толық қамтитын бірыңғай растрлық қабат қалыптастырылды. Одан әрі лицензиялық учаскелер, жер қойнауын пайдалану объектілері, әкімшілік шекаралар және мониторинг нәтижелерін қамтитын тақырыптық қабаттар негізінде геодеректер базасы құрылды [10].

Ғарыштық суреттерді дешифрлеу негізінде кен орындарын игеру аумақтары мен өндірістік объектілердің нақты



Сурет 1. Қашықтан зондтау жұмыстарын жүргізу сызбасы.

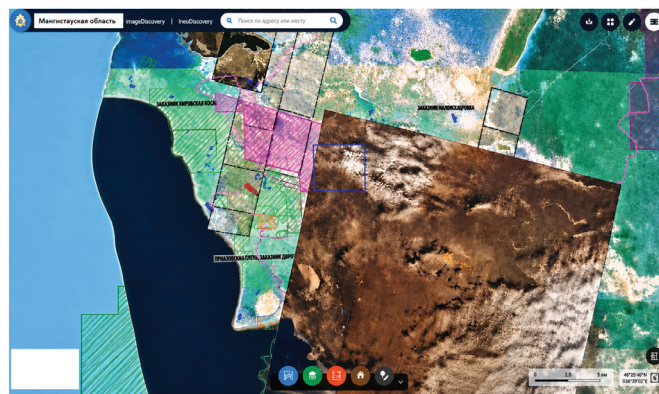
Figure 1. Remote sensing workflow scheme.

Рис. 1. Схема проведения дистанционного зондирования.

шекаралары анықталып, векторлық форматқа келтірілді. Нақты шекараларды лицензиялық учаскелердің шекараларымен салыстыру кеңістіктік қиылысу әдісі арқылы жүзеге асырылды. Бұл тәсіл келісімшарттық аумақтардың шегінен тыс жүргізілген жұмыстарды, шекаралардың қабаттасуын және жер пайдалануға қатысты өзге де кеңістіктік сәйкессіздіктерді анықтауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар антропогендік әсерден бұзылған және мұнаймен ластанған аумақтарды анықтау мақсатында қосымша кеңістіктік талдау жүргізілді. Зерттеу аясында Маңғыстау облысының жер ресурстары мен жер қойнауын пайдалануды мониторингтеуге арналған мамандандырылған геопортал әзірленді. Геопортал Жерді қашықтықтан зондтау деректерін, кадастрлық және тақырыптық кеңістіктік ақпаратты бірыңғай цифрлық ортада сақтау, өңдеу, визуализациялау және талдау үшін құрылды. Оның негізгі мақсаты – ғарыштық мониторинг нәтижелерін орталықтандырылған түрде басқару және жер ресурстарының пайдаланылуына жүргізілетін кеңістіктік бақылауды ақпараттық қамтамасыз ету [11, 12].

Геопорталдың функционалдық мүмкіндіктері ғарыштық суреттерді әртүрлі кеңістіктік ажыратымдылықта көрсету, тақырыптық қабаттарды қосу және олардың көрінуін басқару, объектілердің атрибуттық ақпаратын қарау, кеңістіктік сұраныстар орындау, қашықтықтар мен аудандарды өлшеу, сондай-ақ мониторинг объектілерінің өзара кеңістіктік орналасуын талдау мүмкіндіктерін қамтиды. Кеңістіктік деректерді салыстырмалы талдауды жеңілдету үшін әртүрлі қабаттар мен ғарыштық суреттерді қатар салыстыруға мүмкіндік беретін «шторка» құралы іске асырылды. Сонымен қатар архивтік және өзекті ғарыштық суреттерді іздеу, сүзгілеу және таңдау үшін ImageDiscovery құралы енгізілді. ImageDiscovery құралында таңдалған ғарыштық суреттерді қарау мысалы 2-суретте көрсетілген. Геопорталда кеңістіктік объектілерді редакциялау және олардың сипаттамалық ақпаратын жаңарту мүмкіндігі қарастырылған. Бұл геодеректер базасын өзектендіруге және монито-

рингтік ақпаратты жүйелі түрде толықтыруға мүмкіндік береді. Жүйе құрамына жер қойнауын пайдаланушылардың лицензиялық учаскелері, нақты жер пайдалану аумақтары, мұнаймен ластанған және антропогендік бұзылған жерлер, әкімшілік шекаралар, инфрақұрылым объектілері, сондай-ақ жоғары және орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы ғарыштық суреттердің тақырыптық қабаттары енгізілді.



Сурет 2. «Image Discovery» құралында таңдалған геодеректер суреттерін қарау.

Figure 2. Visualization of selected geospatial imagery in the «Image Discovery» tool.

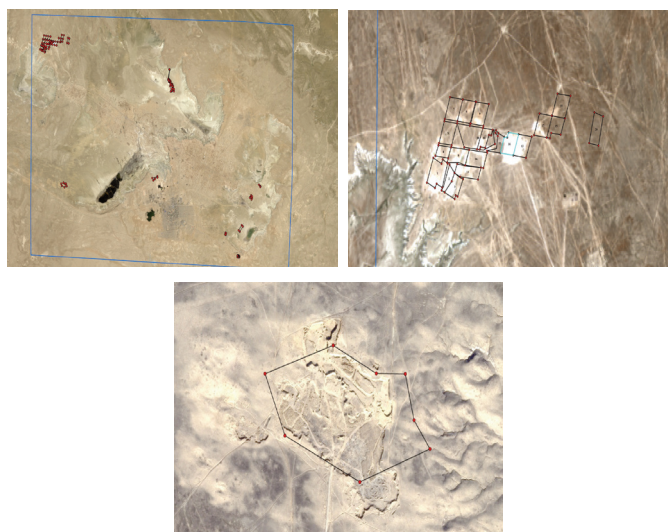
Рис. 2. Просмотр выбранных геоданных снимков в инструменте «Image Discovery».

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу барысында Маңғыстау облысының аумағында жер қойнауын пайдалану объектілерінің лицензиялық учаскелердің белгіленген шекараларына сәйкестігі бағаланды. Кеңістіктік салыстыру нәтижесінде нақты жер пайдалану шекаралары мен лицензиялық учаскелердің белгіленген шекаралары арасында бірқатар сәйкессіздіктер анықталды. Атап айтқанда, лицензиялық учаскелердің шекарасынан тыс аумақтарды игеру, жекелеген учаскелердің қабаттасуы және нақты жер пайдалану шекараларының рұқсат беру құжаттарында көрсетілген аумақтарға сәйкес келмеуі сияқты жағдайлар белгіленді.

Анықталған кеңістіктік сәйкессіздіктер жер қойнауын пайдалану аумақтарының нақты жай-күйін бағалау және олардың белгіленген шекараларға сәйкестігін бақылау қажеттілігін көрсетеді. Кеңістіктік талдау нәтижелерін картографиялық түрде көрсету бұзушылықтардың орналасуын нақтылауға және қосымша тексеруді қажет ететін аумақтарды анықтауға мүмкіндік береді. Лицензиялық учаскелердің белгіленген шекаралары мен нақты жер пайдалану аумақтарының кеңістіктік арақатынасы және анықталған сәйкессіздіктер 3-суретте көрсетілген. Картада лицензиялық учаскелердің шекаралары мен нақты жер пайдалану аумақтарының контурлары көрсетіліп, олардың өзара орналасуы мен шекаралардан тыс орналасқан учаскелерді визуалды түрде бағалауға мүмкіндік береді.

Жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы ғарыштық суреттер негізінде елді мекендер аумағындағы жер пайдалану құрылымына қосымша талдау жүргізілді. Ғарыштық мониторинг нәтижелерін мемлекеттік жер кадастрының



Сурет 3. Жерді пайдаланудың ЖҚЗ деректері бойынша анықталған бұзушылықтары.

Figure 3. Detected land use violations based on remote sensing data.

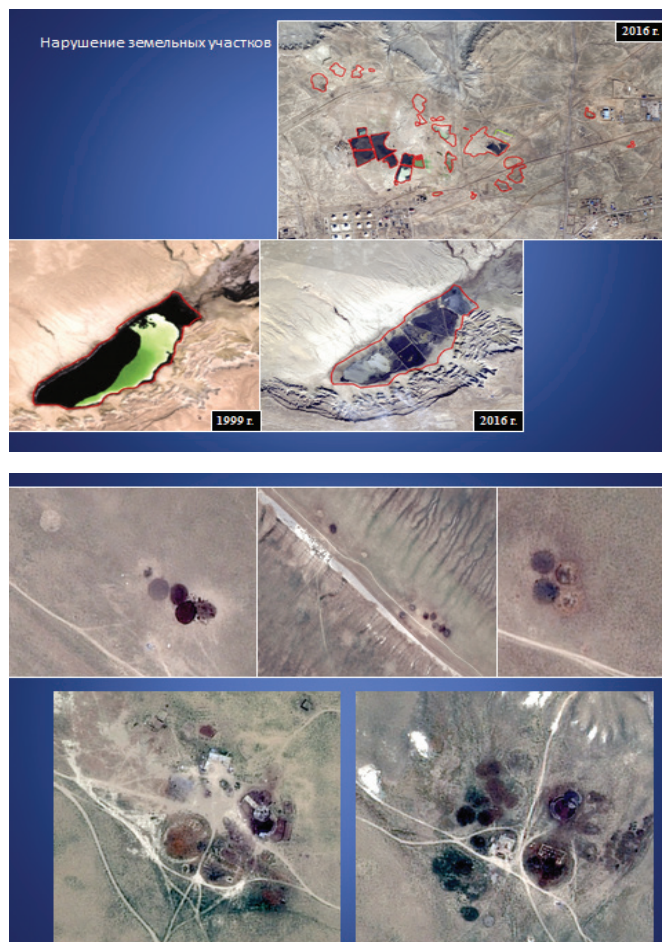
Рис. 3. Выявленные нарушения землепользования по данным ДЗЗ.

деректерімен салыстыру барысында кадастрлық ақпаратта көрсетілмеген немесе кеңістіктік сипаттамалары өзектендіруді қажет ететін жер учаскелері анықталды. Бұл қашықтан зондау материалдарын кадастрлық деректердің толықтығы мен кеңістіктік өзектілігін бағалау құралы ретінде пайдаланудың маңыздылығын көрсетеді.

Қашықтықтан зондау деректерін дешифрлеу нәтижесінде мұнаймен ластанған учаскелер анықталып, олардың кеңістіктік шекаралары мен таралу сипаты бағаланды. Кеңістіктік талдау ластану шоғырланған аумақтарды айқындауға және қосымша экологиялық зерттеу мен мониторингті қажет ететін учаскелерді белгілеуге мүмкіндік берді. Анықталған аумақтардың кеңістіктік орналасуын картографиялық түрде көрсету ластану ошақтарын визуалды бағалауға және олардың орналасу ерекшеліктерін талдауға жағдай жасайды. Мұнаймен ластанған учаскелердің кеңістіктік орналасуы 4-суретте көрсетілген.

Алынған нәтижелер мұнаймен ластанған аумақтарды анықтау және картографиялық бейнелеу үшін Жерді қашықтан зондау деректерін қолданудың тиімділігін көрсетеді. Дешифрлеу нәтижелерін геоақпараттық жүйемен интеграциялау ластанған учаскелердің кеңістіктік сипаттамаларын бағалауға, олардың өзгеруін бақылауға және экологиялық бақылау іс-шараларын ақпараттық қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

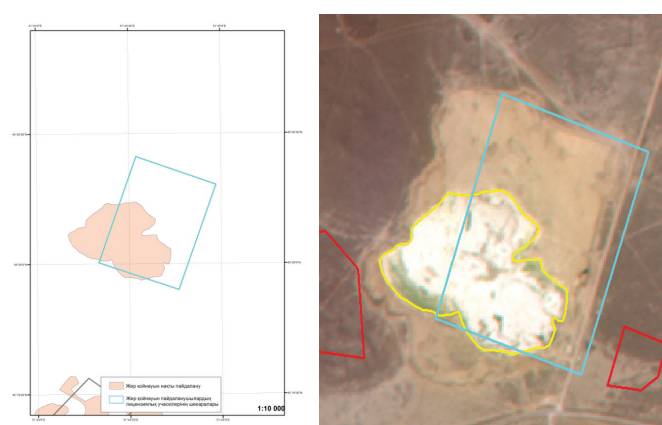
Лицензиялық учаскелердің белгіленген шекаралары мен нақты жер пайдалану аумақтарының шекараларының кеңістіктік арақатынасы 5-суретте көрсетілген. Картада лицензиялық учаскелердің шекаралары мен нақты жер пайдалану аумақтары жеке графикалық контурлар арқылы беріліп, олардың өзара орналасуы мен шекаралардың сәйкес келмеуін визуалды бағалауға мүмкіндік береді.



Сурет 4. Ластанған учаскелердің кеңістіктік орналасуы.

Figure 4. Spatial distribution of contaminated sites.

Рис. 4. Пространственное расположение загрязненных участков.



Сурет 5. Лицензиялық учаскелер шекараларының және жер қойнауын пайдаланушылар тарапынан жіберілген бұзушылықтардың сызбасы.

Figure 5. Scheme of licensed area boundaries and their violations by subsoil users.

Рис. 5. Схема границ лицензионных участков и их нарушения недропользователями.

Кеңістіктік талдау нәтижелері жекелеген учаскелерде нақты жер пайдалану шекараларының лицензиялық аумақтардың шекараларымен сәйкес келмейтінін және олардың арасында қабаттасу жағдайлары бар екенін көрсетті. Мұндай кеңістіктік сәйкессіздіктер жер қойнауын пайдалану учаскелерінің шекараларын нақтылау және геодеректерді өзектендіру қажеттілігін көрсетеді.

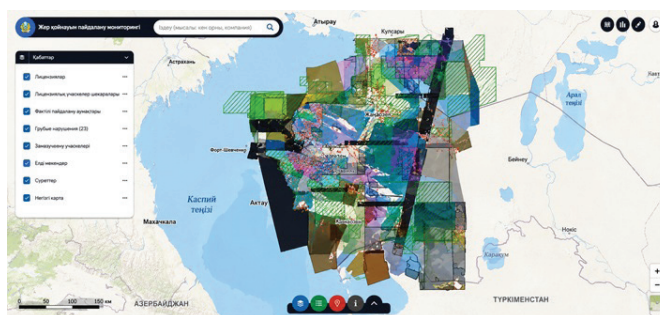
Аталған тәсіл лицензиялық учаскелердің кеңістіктік жағдайын көрнекі бағалауға және жер пайдалану шекараларындағы ықтимал бұзушылықтарды жедел анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижелерді картографиялық түрде көрсету анықталған сәйкессіздіктерді кейінгі кадастрлық және құқықтық тексеру үшін негіз ретінде пайдалануға жағдай жасайды.

Геопорталдың интерфейсінде ғарыштық суреттер, лицензиялық учаскелер, жер пайдалану объектілері және мониторинг нәтижелерін қамтитын тақырыптық кеңістіктік қабаттар біріктірілген. Интерфейс арқылы ғарыштық суреттерді және тақырыптық қабаттарды бір уақытта визуализациялау, олардың өзара кеңістіктік орналасуын салыстыру және мониторинг объектілерін талдау мүмкіндігі қамтамасыз етіледі. Геопортал интерфейсінде мониторингке арналған негізгі кеңістіктік деректерді біртұтас ортада көрсету мысалы 6-суретте келтірілген.

Геопорталдың құрылымы мониторингтік деректерді жүйелі түрде жаңартуға және оларды кейінгі кеңістіктік талдау үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Деректерді біртұтас цифрлық ортада визуализациялау мониторинг нәтижелерін кешенді бағалауға, объектілердің өзара кеңістіктік орналасуын талдауға және анықталған сәйкессіздіктерді жедел қарастыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде Маңғыстау облысының жер ресурстары мен жер қойнауын пайдалану мониторингіне арналған геоақпараттық жүйе әзірленіп, оның ақпараттық негізін Жерді қашықтықтан зондтау, кадастрлық және



Сурет 6. Маңғыстау облысының жер ресурстары мен жер қойнауын пайдалануды мониторингтеу геопорталының интерфейсі.

Figure 6. Interface of the geospatial portal for monitoring land resources and subsoil use in the Mangystau Region.

Рис. 6. Интерфейс геопортала мониторинга земельных ресурсов и недропользования Мангистауской области.

кеңістіктік деректерді біріктіру арқылы қалыптастыру тәсілі ұсынылды.

Жүргізілген талдау ғарыштық мониторинг материалдарының нақты жер пайдалану жағдайын бағалауға және белгіленген шекаралардан ауытқуларды анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл тәсіл жер ресурстары туралы кеңістіктік ақпаратты өзектендіру және мониторинг нәтижелерінің объективтілігін арттыру үшін қолданылуы мүмкін.

Әзірленген геопортал мониторингтік деректерді бірыңғай ақпараттық ортада жүйелеуге және оларды кеңістіктік талдауға мүмкіндік беретін практикалық құрал ретінде қалыптастырылды. Оның қолданылуы жер ресурстарын басқару және жер қойнауын пайдалану саласындағы бақылау үдерістерін ақпараттық қамтамасыз етуге бағытталған.

Ұсынылған әдістемелік тәсілді одан әрі жетілдіру мониторинг үдерістерін автоматтандыруға және көпмағындық ғарыштық деректер негізінде аумақтық өзгерістердің динамикасын бағалауға бағытталуы мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Якубайлик О. Э. Жерді қашықтан зондтау деректері мен ГАЖ технологиялары негізінде дәл егіншілік және агромониторинг міндеттерін ақпараттық-аналитикалық қамтамасыз ету // Қазіргі егіншіліктегі топырақ құнарлылығы мәселелері: тың және тыңайған жерлерді игерудің 70 жылдығына арналған халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары. – 2024. – Б. 36–39 (орыс тілінде)
2. Топырақ, су және орман: тау-кен өндірісінен туындайтын қауіптерді ГАЖ негізінде модельдеу және бағалауға шолу / J. Suh [және т. б.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Т. 14. – № 12. – 1463 (ағылшын тілінде)
3. Dibovuk O. Жердің деградациясын бағалауда қашықтан зондтаудың рөлі: мүмкіндіктері мен мәселелері // European Journal of Remote Sensing. – 2017. – Т. 50. – № 1. – Б. 601–613 (ағылшын тілінде)
4. Тау-кен өндіру аумақтарындағы экологиялық ортаны қашықтан зондтау арқылы мониторингтеудің даму барысы / W. Song [және т. б.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Т. 17. – № 6. – 1846 (ағылшын тілінде)
5. Кенжеғалиев Е. М. Жерді қашықтан зондтау деректері негізінде жерді тиімді пайдалану // Аграрлық нарық мәселелері. – 2021. – № 3. – Б. 180–185 (орыс тілінде).
6. ГАЖ-технологиялар мен қашықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, ауыл шаруашылығы жерлерін пайдалануды ұзақ мерзімді есепке алу алгоритмін әзірлеу / Н. Т. Шогелова [және т. б.] // География және қоршаған ортаны басқару журналы. – 2024. – Т. 72. – № 1. – Б. 61–72 (орыс тілінде)

7. «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК» АҚ. KazEOSat-1 және KazEOSat-2 спутниктері бойынша материалдар мен техникалық құжаттама. – Астана: «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК» АҚ (орыс тілінде)
8. Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрінің 2014 жылғы 23 желтоқсандағы № 160 бұйрығы. Қазақстан Республикасында мемлекеттік жер кадастрын жүргізу қағидаларын бекіту туралы. – Астана, 2015 (орыс тілінде)
9. Бірнеше қашықтан зондтау деректер жиынтығын пайдалана отырып, жерүсті тау-кен өндірісі белдеулерін мониторингтеу: жаһандық шолу / L. Yu [және т. б.] // *Ore Geology Reviews*. – 2018. – Т. 101. – Б. 675–687 (ағылшын тілінде)
10. Esri. ArcGIS Desktop: пайдаланушы нұсқаулығы. – Редлендс, Калифорния: Environmental Systems Research Institute, 2020 (ағылшын тілінде)
11. Бударова В. А. Геопорталдық шешімдер аймақтық деңгейде талдау және шешім қабылдауды қолдаудың тиімді құралы ретінде // *Халықаралық ауылшаруашылық журналы*. – 2022. – № 5. – Б. 191–205 (орыс тілінде)
12. Орта Оралдың тау-кен өнеркәсібі аумақтарының экологиялық мәселелерін шешуге арналған геоақпараттық мониторинг / С. В. Корнилков [және т. б.] // *Тау-кен өнеркәсібі*. – 2022. – № 1S. – Б. 127–133 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Yakubailik O. E. *Informatsionno-analiticheskoe obespechenie zadach tochnogo zemledeliia i agromonitoringa na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniia Zemli i tekhnologii GIS [Information and Analytical Support for Precision Agriculture and Agromonitoring Tasks Based on Earth Remote Sensing Data and GIS Technologies]* // In: *Problemy plodorodiia pochv v sovremennom zemledelii [Problems of Soil Fertility in Modern Agriculture] Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 70th Anniversary of the Development of Virgin and Fallow Lands*. – 2024. P. 36–39 (in Russian)
2. Overview of GIS-Based Modeling and Assessment of Mining-Induced Hazards: Soil, Water, and Forest / J. Suh et al. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Vol. 14. – No. 12. – Article 1463 (in English)
3. Dubovyk O. The role of Remote Sensing in land degradation assessments: opportunities and challenges // *European Journal of Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 50. – No. 1. – P. 601–613 (in English)
4. Progress in the Remote Sensing Monitoring of the Ecological Environment in Mining Areas / W. Song et al. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17. – No. 6. – Article 1846 (in English)
5. Kenzhegaliev E. M. *Effektivnoe zemlepolzovanie na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniia Zemli [Efficient land use based on Earth remote sensing data]* // *Problemy agrorynka [Problems of the Agrarian Market]*. – 2021. – No. 3. – P. 180–185 (in Russian)
6. *Razrabotka algoritma dolgovremennogo ucheta ispolzovaniia selkhozemel s primeneniem GIS-tekhnologii i promezhutochnykh dannykh distantsionnogo zondirovaniia [Development of an algorithm for long-term accounting of agricultural land use using GIS technology and remote sensing data]* N. T. Shogelova et al. *Zhurnal geografii i ratsional'nogo prirodogopol'zovaniia [Journal of Geography and Environmental Management]*. – 2024. – Vol. 72. – No. 1. – P. 61–72 (in Russian)
7. JSC «NC Kazakhstan Gharysh Sapary». *Materialy i tekhnicheskaiia dokumentatsiia po sputnikam KazEOSat-1 i KazEOSat-2 [Materials and Technical Documentation on the KazEOSat-1 and KazEOSat-2 Satellites]*. – Астана: JSC «NC Kazakhstan Gharysh Sapary» (in Russian)
8. *Prikaz Ministra natsional'noi ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 23 dekabria 2014 goda No. 160. Ob utverzhdenii Pravil vedeniia gosudarstvennogo zemel'nogo kadastra v Respublike Kazakhstan [Order of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan dated December 23, 2014 No. 160. On Approval of the Rules for Maintaining the State Land Cadastre in the Republic of Kazakhstan]*. Астана, 2014 (in Russian)
9. Monitoring surface mining belts using multiple remote sensing datasets: A global perspective / L. Yu et al. // *Ore Geology Reviews*. – 2018. – Vol. 101. – P. 675–687 (in English).
10. Esri. ArcGIS Desktop: User Guide. – Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2020 (in English)
11. Budarova V. A. *Geoportal'nye resheniia kak effektivnyi instrument analiza i podderzhki priniatiia reshenii na regional'nom urovne [Geoportal Solutions as an Effective Tool for Analysis and Decision-Making Support at the Regional Level]* // *Mezhdunarodnyi sel'skokhoziaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]*. – 2022. – No. 5. – P. 191–205 (in Russian)
12. *Geoinformatsionnyy monitoring dlya resheniya ekologicheskikh zadach gornopromyshlennykh territoriy Srednego Urala [Geoinformation monitoring for solving environmental problems of mining territories of*

the Middle Urals] S. V. Kornilov et al. *Gornaya promyshlennost [Russian Mining Industry]*. – 2022. – No. 1S. – P. 127–133 (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Якубайлик О. Э. Информационно-аналитическое обеспечение задач точного земледелия и агромониторинга на основе данных дистанционного зондирования Земли и технологий ГИС // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель. – 2024. – С. 36–39 (на русском языке)
2. Обзор моделирования и оценки опасностей, вызванных горными работами, на основе ГИС: почва, вода и лесные ресурсы / J. Suh [и др.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Т. 14. – № 12. – Ст. 1463 (на английском языке)
3. Dibovuk O. Роль дистанционного зондирования в оценке деградации земель: возможности и проблемы // *European Journal of Remote Sensing*. – 2017. – Т. 50. – № 1. – С. 601–613 (на английском языке)
4. Прогресс в дистанционном зондировании и мониторинге экологического состояния горнодобывающих районов / W. Song [и др.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Т. 17. – № 6. – Ст. 1846 (на английском языке)
5. Кенжегалиев Е. М. Эффективное землепользование на основе данных дистанционного зондирования Земли // Проблемы агрорынка. – 2021. – № 3. – С. 180–185 (на русском языке)
6. Разработка алгоритма долговременного учета использования сельхозземель с применением ГИС-технологии и промежуточных данных дистанционного зондирования / Н. Т. Шогелова [и др.] // Журнал географии и рационального природопользования. – 2024. – Т. 72. – № 1. – С. 61–72 (на русском языке)
7. АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары». Материалы и техническая документация по спутникам KazEOSat-1 и KazEOSat-2. – Астана: АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары» (на русском языке)
8. Об утверждении Правил ведения государственного земельного кадастра в Республике Казахстан: приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 23 декабря 2014 года. – Астана, 2015 (на русском языке)
9. Мониторинг зон поверхностной добычи с использованием нескольких наборов данных дистанционного зондирования: глобальная перспектива / L. Yu [и др.] // *Ore Geology Reviews*. – 2018. – Т. 101. – С. 675–687 (на английском языке)
10. Esri. ArcGIS Desktop: руководство пользователя. – Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2020 (на английском языке)
11. Бударова В. А. Геопортальные решения как эффективный инструмент анализа и поддержки принятия решений на региональном уровне // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 5. – С. 191–205 (на русском языке)
12. Геоинформационный мониторинг для решения экологических задач горнопромышленных территорий Среднего Урала / С. В. Корнилов [и др.] // Горная промышленность. – 2022. – № 1S. – С. 127–133 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Мейрамбек Г., т. ғ. к., профессор, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасы, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан), g.meirambek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4869-0587>

Үйсенов М. М., магистратура студенті, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасы, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан), mekenujsenov@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-2503-6567>

Information about the authors:

Meirambek G., Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Uysenov M. M., Master's student, Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Мейрамбек Г., к. т. н., профессор, кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный технический исследовательский университет им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Үйсенов М. М., студент магистратуры, кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет (г. Алматы, Казахстан)



MINEX '26
EUROPE
IRELAND

28-30 October, Trim, Ireland

Europe's Mining: Investable, Sustainable, Essential

The 10th MINEX Europe Mining & Exploration Forum

ABOUT MINEX FORUM MINEX

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



MINEX '26
EUROPE
IRELAND

Код МРНТИ 36.23.25

D. Ozhigin, *U. Kubaidullina, V. Kazantseva, O. Starostina
Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

APPLICATION OF INSAR TECHNOLOGY FOR MONITORING OF THE SHERUBAY-NURA RESERVOIR DAM

Abstract. This paper investigates the potential of multi-temporal satellite radar interferometry for monitoring the deformation state of the Sherubay-Nura Reservoir dam. Spatial and temporal displacements of the structure were assessed using the SBAS-InSAR approach based on Sentinel-1 satellite imagery. Trihedral corner reflectors were employed to improve the reliability of interferometric measurements by ensuring stable identification of reference points. The analysis enabled the identification of localized deformation zones and the assessment of displacement rates and their temporal evolution, demonstrating the effectiveness of integrating InSAR technology with corner reflectors for the remote monitoring of hydraulic structures.

Key words: SBAS-InSAR, satellite radar interferometry, Sentinel-1, earth-fill dam, deformation monitoring, corner reflectors, geodetic monitoring.

Шерубай-Нұра су қоймасы бөгетінің мониторингінде InSAR технологиясын қолдану

Аннотация. Мақалада Шерубай-Нұра су қоймасы бөгетінің деформациялық жағдайын мониторингінде көпұақытты спутниктік радиолокациялық интерферометрия технологиясының мүмкіндіктері қарастырылған. Sentinel-1 спутниктік түсірілімдері негізінде SBAS-InSAR әдісін қолдану арқылы құрылыстың кеңістіктік-уақыттық ығысуларына бағалау жүргізілді. Интерферометриялық өлшеулердің сенімділігін арттыру мақсатында бақылау нүктелерін тұрақты сәйкестендіруді қамтамасыз ететін ұшқырлы бұрыштық шағылдырғыштар пайдаланылды. Жүргізілген талдау деформациялардың жергілікті аймақтарын анықтауға, ығысу жылдамдықтары мен олардың даму сипатын бағалауға мүмкіндік берді және гидротехникалық құрылыстардың деформациялық жағдайын қашықтан мониторингінде InSAR технологиясы мен бұрыштық шағылдырғыштарды бірлесіп қолданудың тиімділігін растады.

Түйінді сөздер: SBAS-InSAR, спутниктік радиолокациялық интерферометрия, Sentinel-1, жер бөгеті, деформациялар мониторингі, бұрыштық шағылдырғыштар, геодезиялық мониторинг.

Применение технологии InSAR для мониторинга дамбы Шерубай-Нуринского водохранилища

Аннотация. В статье рассмотрены возможности многовременной спутниковой радиолокационной интерферометрии для мониторинга деформационного состояния дамбы Шерубай-Нуринского водохранилища. На основе метода SBAS-InSAR по данным спутниковой съемки Sentinel-1 выполнена оценка пространственно-временных смещений сооружения. Для повышения надежности интерферометрических измерений использованы трехгранные угловые отражатели, обеспечившие устойчивую идентификацию контрольных точек. Выполненный анализ позволил выявить локальные зоны деформаций, оценить скорости и характер развития смещений, подтвердив эффективность совместного применения технологии InSAR и угловых отражателей для дистанционного мониторинга гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: SBAS-InSAR, спутниковая радиолокационная интерферометрия, Sentinel-1, земляная дамба, мониторинг деформаций, угловые отражатели, геодезический мониторинг.

Introduction

Hydraulic structures are classified as critical infrastructure facilities whose safe operation largely depends on the timely detection and assessment of deformation processes. The development of settlements and horizontal displacements may reduce the operational reliability of a structure and increase the risk of structural failure. At present, the monitoring of earth-fill dams is primarily based on high-precision leveling, electronic total station surveys, and Global Navigation Satellite System (GNSS) observations. Although these methods provide high measurement accuracy, they yield information only at discrete control points, limiting the assessment of the spatial distribution of deformations over the entire surface of a structure and requiring regular field surveys.

One of the most promising approaches to remote deformation monitoring is Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR). Modern multi-temporal InSAR (MT-InSAR) techniques, including Persistent Scatterer Interferometry (PS-InSAR) and the Small Baseline Subset (SBAS) method, enable the estimation of line-of-sight (LOS) displacements, the generation of high-resolution deformation maps, and the analysis of deformation dynamics over time. Advances in time-series processing algorithms have substantially reduced the effects of atmospheric delays, temporal decorrelation, and noise, making InSAR one of the most effective tools for monitoring slowly evolving deformation processes affecting engineering structures [1].

A review of recent studies indicates that the application of InSAR has expanded considerably and now encompasses the monitoring of hydraulic structures, landslides, mining areas, transportation infrastructure, and urban environments [2].

A major milestone in the development of this technology was the launch of the Sentinel-1 satellite constellation, which provides regular revisit intervals, global coverage, and free access to archived SAR data. These capabilities have significantly enhanced the feasibility of long-term deformation monitoring without the need for continuous on-site field inspections. Recent investigations have demonstrated the high potential of MT-InSAR for monitoring various types of hydraulic structures. In the case of the Upper Atbara earth-fill dam, Sentinel-1 time-series analysis revealed the spatial heterogeneity of deformation across different sections of the dam [3]. For the Beninar Dam (Spain), the integration of MT-InSAR results with engineering modeling was shown to improve the effectiveness of comprehensive structural health assessment and provide a more reliable evaluation of dam stability [4]. Studies conducted on the Xiaolangdi and Banqiao dams (China) confirmed the capability of MT-InSAR to identify the spatial distribution of deformations, analyze their seasonal variability, and assess the influence of reservoir water-level fluctuations on displacement patterns [5, 6]. Similar findings have been reported for tailings dams, where multi-temporal interferometry enables the identification of zones affected by non-uniform deformation and facilitates the early detection of potentially hazardous geotechnical processes [7, 8].

Despite these advantages, published studies indicate that the application of InSAR is subject to several limitations. The quality of the derived deformation measurements is influenced by the coherence of the radar signal, satellite imaging geometry, the spatial resolution of SAR data, and the orientation of the displacement vector relative to the satellite line of sight. Consequently, the highest reliability is achieved through the integra-

tion of satellite interferometry with conventional ground-based geodetic monitoring methods, allowing cross-validation of the obtained results and improving the accuracy of deformation assessments for hydraulic structures [9, 10].

The aim of this study is to evaluate the capabilities of MT-InSAR for monitoring the spatio-temporal deformation of the Sherubai-Nura Reservoir dam using multi-temporal Sentinel-1 SAR observations.

Methodology of Satellite Monitoring Using InSAR

The study was conducted on the Sherubai-Nura Reservoir dam, located in the Karaganda Region of the Republic of Kazakhstan. The hydraulic structure was commissioned in 1960 and has been in continuous operation for more than 60 years. Structurally, the dam is an earth-fill embankment with a rock-fill body and a concrete spillway.

To assess the deformation state of the structure, Synthetic Aperture Radar (SAR) images acquired in Spotlight mode from a descending satellite orbit with left-looking imaging geometry were used. The central radar incidence angle was 29.9820° . The SAR imagery had a ground sampling interval of 0.45 m in the range direction and 0.35 m in the azimuth direction, providing sufficient spatial resolution for detailed analysis of localized deformation.

A total of 16 SAR images acquired between July and October 2025 were included in the interferometric processing. The spatial coverage of the study area by the satellite observations is presented in Figure 1.

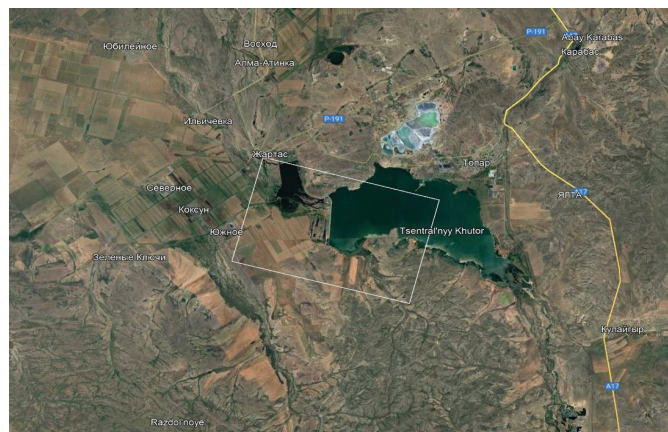


Figure 1. Spatial coverage of the acquired images.

Сурет 1. Түсірілімдердің кеңістіктік қамтылуы.

Рис. 1. Пространственное покрытие снимков.

The SAR data were processed using the Small Baseline Subset (SBAS) technique, which is based on solving a system of interferometric equations through Singular Value Decomposition (SVD). This approach minimizes the effects of both temporal and spatial decorrelation, enabling the generation of stable deformation time series. The network of connections between the SAR images used and the corresponding interferometric pairs is presented in Figure 2.

To analyze the spatio-temporal deformation of the study area, the SBAS-InSAR multi-temporal interferometric technique was employed. This method enables the reconstruction of ground deformation dynamics by generating deformation

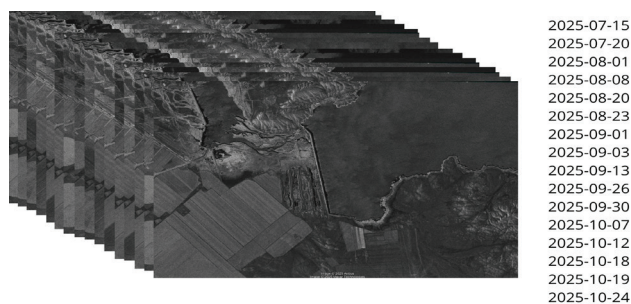


Figure 2. List of the source synthetic aperture radar (SAR) images used, including their acquisition dates.

Сурет 2. Түсірілім күндері көрсетілген пайдаланылған бастапқы радиолокациялық суреттердің тізімі.

Рис. 2. Список использованных исходных радиолокационных снимков с датами съемки.

time series and estimating displacement velocities along the satellite line of sight (LOS) from interferograms formed using SAR images with short temporal and perpendicular baselines. The SBAS-InSAR approach is based on constructing a redundant network of interferometric pairs generated from SAR images acquired within limited temporal and spatial baseline intervals.

At the first stage of processing, an interferometric network is generated, defining the set of SAR image pairs used for subsequent interferometric analysis. One SAR image is selected as the reference image, relative to which all other images are co-registered with sub-pixel accuracy up to 1/100 of a pixel.

After completion of the co-registration procedure, interferograms are generated for each selected image pair through pixel-wise multiplication of the complex signal of the master image by the complex conjugate of the slave image signal. Since each SAR image contains both amplitude and phase components, the interferometric phase (ϕ) represents the phase difference between two acquisitions. This phase decomposition is essential for the accurate separation of the deformation signal during subsequent processing stages. At the second processing stage, interferogram filtering and phase unwrapping are performed. To isolate the deformation-related phase component, the topographic phase contribution is first estimated using a Digital Elevation Model (DEM), after which a differential interferogram is generated. In this case, one complete phase cycle variation (2π) corresponds to a surface displacement equal to half of the radar wavelength, or to an elevation difference determined by the relationship between the perpendicular and critical baselines. To reduce the influence of phase noise, an adaptive Goldstein filter is applied, which effectively suppresses random phase fluctuations while preserving the structure of interference fringes required for subsequent processing.

Phase unwrapping was performed using the Delaney Minimum Cost Flow (MCF) algorithm, which minimizes phase discontinuities by selecting optimal unwrapping paths in areas characterized by low coherence. The resulting unwrapped interferograms were subsequently inverted using the least squares method, taking into account the temporal relationships between SAR acquisitions. This procedure enables the reconstruction of incremental displacement sequences and the generation of cumulative deformation time series. Following

phase unwrapping, the quality of the generated interferograms was assessed. Interferometric pairs characterized by low coherence and pronounced artifacts, including phase discontinuities, were excluded from further processing. When necessary, coherence threshold values were adjusted, after which the interferometric network was reconstructed using an updated set of image pairs. One of the key requirements for obtaining reliable results in interferometric processing is the presence of targets with stable radar backscattering characteristics within the study area. For this purpose, trihedral corner reflectors were installed as part of the study. The operating principle of a corner reflector is based on multiple specular reflections of the radar signal from mutually perpendicular surfaces, allowing a significant portion of the incident electromagnetic energy to be redirected back toward the satellite antenna. As a result, a bright and stable point target with a high radar cross-section (RCS) is formed in SAR images, clearly distinguishable from the surrounding surface. Aluminum was selected as the material for reflector fabrication due to its high electrical conductivity, which ensures efficient radar signal reflection through minimal energy losses during electromagnetic wave interaction with the surface, as well as its low weight and high corrosion resistance. The edge length of 1 m was selected considering the operating wavelength of the Sentinel-1 C-band radar system, ensuring reliable detection and stable identification of the reflectors during multi-temporal SAR data processing. Corner reflectors serve as reference ground targets, providing high signal amplitude and stable phase characteristics over time. Therefore, they are essential for the calibration and georeferencing of satellite observations within InSAR monitoring applications. Each reflector was installed on an individual concrete foundation equipped with an adjustable inclination mechanism to ensure precise orientation toward the satellite (Figure 3). Monitoring of the reflectors across a series of SAR acquisitions confirmed the stability of signal amplitude and phase consistency over time, enabling their application for: internal calibration of deformation time series; external validation of InSAR measurement accuracy; ensuring metric consistency between satellite-derived data and ground-based observations.

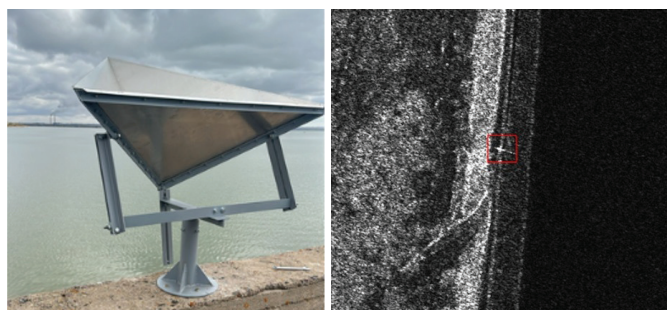


Figure 3. General view of the corner reflector and its angle adjustment.

Сурет 3. Бұрыштық шағылдырғыштың жалпы көрінісі және оның бұрышын реттеу.

Рис. 3. Основной вид отражателя и регулировка угла.

Monitoring of the reflectors across multiple SAR images enabled an increase in the backscatter intensity of individual

reflectors and allowed the optimal orientation angle of each reflector to be adjusted.

Results

The interferometric processing results provided information on displacement velocities characterizing the deformation state of the Sherubai-Nura Reservoir dam. The analysis was performed using more than 26,000 measurement points distributed across the study area. The obtained results showed that the average displacement velocity was 3.1 mm/year. Spatial analysis of the displacement velocity distribution enabled the identification of three deformation concentration zones (Figure 4). Deformation Zone No. 1 is located within the sluice complex area, Zone No. 2 is situated in the central part of the dam body, and Zone No. 3 is located in the southern section of the structure. The most pronounced spatial displacement gradients were observed in the area of the sluice complex, where both positive and negative velocity values were detected within a limited area. A detailed analysis of the deformation time series revealed that, within Zone No. 1, positive displacements are associated with the concrete elements of the sluice structure, whereas negative displacement values are concentrated in the area of the flow energy dissipation structure, including the side walls of the spillway and the bridge roadway.

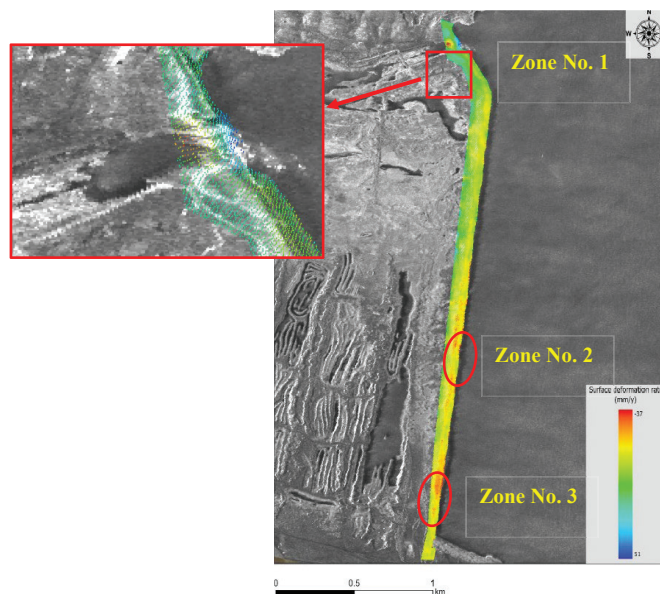


Figure 4. Deformation zones.

Сурет 4. Деформация аймақтары.

Рис. 4. Зоны деформаций.

Analysis of the time series for three control points characterized by the maximum displacement velocities demonstrated a high degree of consistency in both cumulative deformation trends and instantaneous velocity variations. The obtained dependencies indicate the stable nature of the recorded deformation signal.

Over the investigated period of approximately three months, the cumulative displacement reached 0.02 m in the satellite line-of-sight direction. It should be noted that the identified positive displacements exhibit clear spatial localization and

coincide with the location of the concrete structures of the sluice complex.

The absence of a random distribution of the deformation signal and the consistent behavior of the time series indicate that the detected displacements represent a stable characteristic of the investigated area rather than being caused by random errors associated with interferometric processing.

Discussion of the Results

The analysis of the spatial distribution of deformations demonstrated that different structural elements of the dam exhibit varying responses to operational loads. The most intensive displacements detected within the sluice complex area are likely associated with a combination of structural and operational factors. At the same time, the absence of maximum hydrostatic loads during the study period does not allow water pressure to be considered the sole cause of the observed deformations, indicating the need for further investigation of their development mechanisms.

The effectiveness of the SBAS-InSAR approach is attributed to the use of an interferometric network composed of image pairs with small spatial and temporal baselines, enabling the reconstruction of the spatio-temporal displacement pattern while maintaining high coherence of the interferometric data. An additional factor that improved the reliability of the results was the use of corner reflectors, which enhanced the quality and reliability of control point identification.

Compared with traditional geodetic monitoring techniques, the proposed approach provides continuous information on the deformation state of the structure, allowing the localization of deformation zones and the assessment of their temporal evolution. However, the method has several limitations associated with the determination of displacements only along the satellite line of sight (LOS), as well as with the dependence of measurement accuracy on radar signal coherence and imaging geometry.

Further development of this research should focus on integrating InSAR-derived measurements with GNSS observations, high-precision leveling, and total station monitoring, as well as extending the duration of satellite observation time series. This will improve the reliability of deformation interpretation, enable the assessment of seasonal variations, and help identify the primary factors governing the deformation behavior of the dam.

Conclusion

The results of the study demonstrated the applicability of the SBAS-InSAR technique for monitoring the deformation state of the Sherubay-Nura Reservoir dam. The use of multi-temporal Sentinel-1 SAR data enabled the generation of a spatially continuous displacement velocity field, the identification of localized deformation zones, and the assessment of their spatial and temporal variability. The installation of corner reflectors ensured reliable identification of reference points and improved the stability of interferometric measurements. The obtained results indicate the potential of integrating SBAS-InSAR with corner reflectors for the remote monitoring of hydraulic structures, particularly in areas characterized by a limited number of stable natural scatterers. However, a comprehensive evaluation of the proposed approach requires validation against independent reference data, including ground-based geodetic measurements. Future research should focus on extending the satellite observation time series, investigating the influence of seasonal and operational factors on deformation patterns, and further improving the integration of InSAR and conventional geodetic monitoring techniques.

Acknowledgments

This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the grant project IRN No. AP22788508 – «Development of methodological approaches for monitoring the condition of critical hydraulic infrastructure facilities in Kazakhstan using unmanned aerial vehicles and remote sensing of the Earth».

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Author Contributions

Ozhigin D. S. – data acquisition, analysis, and data systematization.

Kubaidullina U. A. – research concept, methodology development, manuscript preparation.

Kazantseva V. V. – literature review, investigation, data visualization.

Starostina O. V. – supervision, validation, and manuscript editing.

REFERENCES

1. *Persistent Scatterer Interferometry: A Review* / M. Crosetto et al. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2016 – Vol. 115. – P. 78–89 (in English)
2. *InSAR as a Tool for Monitoring Hydropower Projects: A Review* / J. Aswathi et al. // *Energy Geoscience*. – 2022 – Vol. 3 (2). – P. 160–171 (in English)
3. *Displacement Monitoring of Upper Atbara Dam Based on Time-Series InSAR* / Q. Q. Wang et al. // *Survey Review*. – 2020 – Vol. 52 (375). – P. 485–496 (in English)
4. *MT-InSAR and Dam Modeling for the Comprehensive Monitoring of an Earth-Fill Dam: The Case of the Benínar Dam (Almería, Spain)* / M. Marchamalo-Sacristán et al. // *Remote Sensing*. – 2023 – Vol. 15 (11). – Article 2802 (in English)
5. *Dam Surface Deformation Monitoring and Analysis Based on PS-InSAR Technology: A Case Study of Xiaolangdi Reservoir Dam in China* / Q. Wang et al. // *Water*. – 2023 – Vol. 15 (18). – Article 3298 (in English)
6. *Deformation Monitoring and Analysis of Reservoir Dams Based on SBAS-InSAR Technology – Banqiao Reservoir* / Z. Pang et al. // *Remote Sensing*. – 2023 – Vol. 15 (12). – Article 3062 (in English)
7. *SBAS-InSAR Based Deformation Monitoring of Tailings Dam: The Case Study of the Dexing Copper Mine No. 4 Tailings Dam* / W. Xie et al. // *Sensors*. – 2023 – Vol. 23 (24). – Article 9707 (in English)

8. *Application of Sentinel-1 InSAR to Monitor Tailings Dams and Predict Geotechnical Instability: Practical Considerations Based on Case Study Insights* / N. M. Rana et al. // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2024. – Vol. 83. – Article 204 (in English)
9. *Advanced analysis of satellite data reveals ground deformation precursors to the Brumadinho tailings dam collapse* / S. Grebby et al. // *Communications Earth & Environment*. – 2021. – Vol. 2. – Article 2 (in English)
10. *Towards operational dam monitoring with PS-InSAR and electronic corner reflectors* / J. Jänichen et al. // *Remote Sensing*. – 2025. – Vol. 17. – No. 7. – Article 1318 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тұрақты шағылдырғыштар интерферометриясы: шолу / M. Crosetto [және т. б.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2016. – Т. 115. – Б. 78–89 (ағылшын тілінде)
2. Гидроэнергетикалық жобаларды мониторингтеуге арналған құрал ретінде InSAR: шолу / J. Aswathi [және т. б.] // *Energy Geoscience*. – 2022. – Т. 3 (2). – Б. 160–171 (ағылшын тілінде)
3. Уақыттық InSAR деректері негізінде Жоғарғы Атбара бөгетінің ығысуларын мониторингтеу / Q. Q. Wang [және т. б.] // *Survey Review*. – 2020. – Т. 52 (375). – Б. 485–496 (ағылшын тілінде)
4. Жер үйінділі бөгетті кешенді мониторингтеуге арналған MT-InSAR және бөгетті модельдеу: Бенинар бөгеті (Альмерия, Испания) мысалында / M. Marchamalo-Sacristán [және т. б.] // *Remote Sensing*. – 2023. – Т. 15 (11). – 2802 (ағылшын тілінде)
5. PS-InSAR технологиясы негізінде бөгет бетінің деформацияларын мониторингтеу және талдау: Қытайдағы Сяоланди су қоймасы бөгеті мысалында / Q. Wang [және т. б.] // *Water*. – 2023. – Т. 15 (18). – 3298 (ағылшын тілінде)
6. SBAS-InSAR технологиясы негізінде су қоймасы бөгеттерінің деформацияларын мониторингтеу және талдау: Баньцяо су қоймасы / Z. Pang [және т. б.] // *Remote Sensing*. – 2023. – Т. 15 (12). – 3062 (ағылшын тілінде)
7. SBAS-InSAR негізінде қалдық сақтау қоймасы бөгетінің деформацияларын мониторингтеу: Дэсин мыс кенішінің №4 қалдық сақтау қоймасы бөгеті мысалында / W. Xie [және т. б.] // *Sensors*. – 2023. – Т. 23 (24). – 9707 (ағылшын тілінде)
8. Sentinel-1 InSAR технологиясын қалдық сақтау қоймаларының бөгеттерін мониторингтеу және геотехникалық орнықтылықты болжау үшін қолдану: тәжірибелік мысалдарға негізделген практикалық аспектілер / N. M. Rana [және т. б.] // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2024. – Т. 83. – 204 (ағылшын тілінде)
9. Спутниктік деректерді кеңейтілген талдау Брумадинью қалдық сақтау қоймасы бөгетінің бұзылуы алдындағы жер беті деформациясының белгілерін анықтады / S. Grebby [және т. б.] // *Communications Earth & Environment*. – 2021. – Т. 2. – 2 (ағылшын тілінде)
10. PS-InSAR және электрондық бұрыштық шағылдырғыштарды пайдалана отырып, бөгеттерді жедел мониторингтеуге қарай / J. Jänichen [және т. б.] // *Remote Sensing*. – 2025. – Т. 17. – № 7. – 1318 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мониторинг устойчивых отражателей методом интерферометрии: обзор / M. Crosetto [и др.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2016. – Т. 115. – С. 78–89 (на английском языке)
2. InSAR как инструмент мониторинга гидротехнических сооружений: обзор / J. Aswathi [и др.] // *Energy Geoscience*. – 2022. – Т. 3 (2). – С. 160–171 (на английском языке)
3. Мониторинг смещений плотины Верхнего Атбара по данным многовременной InSAR / Q. Q. Wang [и др.] // *Survey Review*. – 2020. – Т. 52 (375). – С. 485–496 (на английском языке)
4. Комплексный мониторинг земляной плотины на основе MT-InSAR и инженерного моделирования на примере плотины Бенинар (Альмерия, Испания) / M. Marchamalo-Sacristán [и др.] // *Remote Sensing*. – 2023. – Т. 15 (11). – Ст. 2802 (на английском языке)
5. Мониторинг и анализ деформаций плотины водохранилища Сяоланди на основе технологии PS-InSAR / Q. Wang [и др.] // *Water*. – 2023. – Т. 15 (18). – Ст. 3298 (на английском языке)
6. Мониторинг и анализ деформаций плотины водохранилища Баньцяо на основе технологии SBAS-InSAR / Z. Pang [и др.] // *Remote Sensing*. – 2023. – Т. 15 (12). – Ст. 3062. (на английском языке)
7. Мониторинг деформаций хвостовой дамбы на основе SBAS-InSAR на примере хвостохранилища № 4 медного рудника Dexing / W. Xie [и др.] // *Sensors*. – 2023. – Т. 23 (24). – Ст. 9707 (на английском языке)
8. Применение Sentinel-1 InSAR для мониторинга хвостовых дамб и прогнозирования геотехнической неустойчивости: практические аспекты на основе анализа примеров / N. M. Rana [и др.] // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2024. – Т. 83. – Ст. 204 (на английском языке)
9. Анализ спутниковых данных выявляет предвестники деформаций грунта перед обрушением дамбы Брумадинью / S. Grebby [и др.] // *Communications Earth & Environment*. – 2021. – Т. 2. – Ст. 2 (на английском языке)
10. Оперативный мониторинг дамб с использованием PS-InSAR и электронных уголкового отражателей / J. Jänichen [и др.] // *Remote Sensing*. – 2025. – Т. 17. – № 7. – Ст. 1318 (на английском языке)

Information about the authors:

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

Kubaidullina A. U., Master of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), u.kubaidullina@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-2445-5590>

Kazantseva V. V., Master of Technical Sciences, lecturer of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Abylkas Saginov technical university (Karaganda, Kazakhstan), kazantseva.v@ktu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-5915-1677>

Starostina O. V., Candidat of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), o.starostina@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Авторы туралы мәліметтер:

Ожигин Д. С., Ph.D, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Кубайдуллина У. А., т. ғ. м., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Казанцева В. В., т. ғ. м., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Старостина О. В., т. ғ. к., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

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

Кубайдуллина У. А., м. т. н., преподаватель, кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Казанцева В. В., м. т. н., преподаватель, кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Старостина О. В., к. т. н., ассоциированный профессор, кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

2026

30 сентябрь –
2 октября

Казахстан, Алматы


KIOGE
OIL&GAS KAZAKHSTAN

30 YEARS
OF
SUCCESS

 Подробная информация:
www.kioge.kz
oilgas.events.kzoilgas.events.kz

2026.minexeurasia.com



MINEX EURASIA'26
London

LONDON • 30 NOVEMBER 2026

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

The 14th Conference on Mining and Mineral Exploration in Eurasia

ABOUT MINEX FORUM MINEX

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



Код МРНТИ 36.23.31

*Р. С. Қурманбаев¹, А. Кенесбаева², О. С. Қурманбаев¹, Бен Джарихани³¹Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан),²Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),³Орталық Азия университеті, Тау қауымдастықтарын зерттеу институты
(Квинсленд, Австралия)

КАСПИЙ МАҢЫ АЙМАҒЫНЫҢ ГЕОДИНАМИКАСЫН МОНИТОРИНГТЕУДІҢ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ЖЕТІЛДІРУ

Аннотация. Мақала Қазақстанның батыс өңіріндегі көмірсутек кен орындарын игеру кезінде туындайтын геодинамикалық процестерді зерттеуге арналған. Каспий теңізінің Бозашы түбегіндегі жер беті деформацияларын кешенді мониторингтеу нәтижелері ұсынылған. Заманауи геодезиялық аспаптар мен авторлар жетілдірген техникалық құралдарды қолдану жер бетінің шөгу параметрлерін анықтаудың дәлдігі мен жеделдігін арттырды. Мониторинг нәтижесінде ауданның геодинамикалық полигоны және мәжбүрлі центрлеуге арналған тұрақты тірек пункттерінің конструкциясы әзірленіп, өндіріске енгізілді. Зерттеу нәтижелері «Геосервис-С» ЖШС-де Батыс Қазақстан кен орындарын игеру кезіндегі жер бетінің деформациялық процестерін мониторингтеу жобасын іске асыруда және ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің оқу үдерісінде пайдаланылды.

Түйінді сөздер: көмірсутек кен орындары, жер беті, шөгу, геодинамикалық полигон, геодезиялық мониторинг, GPS бақылаулар.

Improvement of geodetic methods for geodynamic monitoring in the Caspian region

Abstract. The article examines geodynamic processes arising during the development of hydrocarbon deposits in western Kazakhstan. The results of integrated monitoring of ground surface deformation on the Buzachi Peninsula in the Caspian region are presented. The use of modern geodetic instruments and technical solutions improved by the authors increased the accuracy and efficiency of determining ground subsidence parameters. Based on the monitoring results, a geodynamic monitoring site and a design for permanent forced-centering control points were developed and implemented. The research results were implemented at Geoservice-S LLP during a project on monitoring ground surface deformation during field development in Western Kazakhstan and used in the educational process of Al-Farabi Kazakh National University.

Key words: hydrocarbon deposits, ground surface, subsidence, geodynamic monitoring site, geodetic monitoring, GPS observations.

Совершенствование геодезических методов мониторинга геодинамики прикаспийской зоны

Аннотация. Статья посвящена изучению геодинамических процессов, возникающих при разработке месторождений углеводородов в западном регионе Казахстана. Представлены результаты комплексного мониторинга деформаций земной поверхности на Бузачинском полуострове Каспийского моря. Использование современных геодезических приборов и усовершенствованных авторами технических средств повысило точность и оперативность определения параметров оседания земной поверхности. По результатам мониторинга созданы и внедрены геодинамический полигон района и конструкция постоянных опорных пунктов принудительного центрирования. Результаты исследования внедрены в ТОО «Геосервис-С» при реализации проекта по мониторингу деформационных процессов земной поверхности при разработке месторождений Западного Казахстана и использованы в учебном процессе Казахского национального университета имени аль-Фараби.

Ключевые слова: месторождения углеводородов, земная поверхность, оседание, геодинамический полигон, геодезический мониторинг, GPS-наблюдения.

Кіріспе

Әлемнің көптеген мұнай-газ бассейндерінде мұнай мен газ өндіруге байланысты күшті, тіпті апатты геодинамикалық құбылыстар тіркелген. Бұл құбылыстар жер сілкіністері, шөгінді жыныстар қабатындағы тектоникалық жарылымдардың белсенділенуі және жер бетінің қарқынды шөгуі түрінде байқалады. Қазіргі уақытта жер беті қозғалыстарының қарқындылығы туралы ауқымды ғылыми деректер жинақталған.

Батыс Қазақстандағы мұнай-газ кен орындарын ұзақ уақыт бойы қарқынды игеру нәтижесінде техногендік жер сілкіністерінің пайда болу ықтималдығы артып келеді. Әлбетте, мұндай сейсмикалық құбылыстар экологиялық, әлеуметтік және экономикалық тұрғыдан елеулі зардаптарға алып келеді. Бұл өңірде бұған дейін де бірнеше сейсмикалық оқиғалар тіркелген. Мәселен, 2008 жылы Шалқар көлі маңында магнитудасы 7 баллдық жер сілкінісі орын алды, ал 2011 жылғы 21 ақпанда Теңіз кен орны аумағында магнитудасы 4,1 балл болатын жер сілкінісі тіркелді. 2000 жылғы сәуірде жер бетінің ауқымды шөгуі салдарынан Солтүстік Бозашы кен орнына жақын орналасқан Қаламқас және Қаражанбас кен орындарының едәуір аумақтарын су басты. 2018 жылғы желтоқсанда Қазақстанның сейсмологиялық қызметтері Ақтау қаласынан 345 км қашықтықта магнитудасы 3,3 балл болатын жер сілкінісін тіркеді [1, 2].

Осыған байланысты Батыс Қазақстандағы көмірсутек кен орындары аумағындағы геодинамикалық процестерді

зерттеу аса өзекті ғылыми міндет болып табылады. Геодинамикалық процестерді болжау модельдерін әзірлеу және оларды тәжірибеде қолдану қауіпті геодинамикалық жағдайлардың алдын алуға және оларды алдын ала болжауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде мұнай-газ кен орындарын экологиялық тұрғыдан қауіпсіз тәсілдермен игеруді қамтамасыз етіп, қоршаған ортаға келетін зиянды, сондай-ақ ықтимал экономикалық шығындарды азайтуға жағдай жасайды.

Мұндай қозғалыстар жергілікті геодинамикалық полигондар (ГДП) аумағында да, кең аумақтар шегінде де байқалады.

Көпшілік жағдайда геодинамикалық полигондарда мониторинг кешенді түрде жүргізіледі: жер беті қозғалыстары бақыланып қана қоймай, сонымен қатар геологиялық, геоморфологиялық, геофизикалық, сейсмологиялық және, ең алдымен, геодезиялық зерттеулердің кең ауқымы орындалады. Сонымен бірге адамның инженерлік қызметінің әсерінен туындайтын жер бетінің ықтимал деформациялары мен техногендік қозғалыстары зерттеледі [3].

Жер бетінің шөгуін дәл болжау және мұнай мен газ өндірудің теріс салдарын болдырмауға бағытталған тиімді инженерлік шешімдерді қабылдау үшін жер бетінің жалпы вертикаль шөгіндегі техногендік құрамдас бөліктің үлесін нақты анықтау қажет. Себебі табиғи және техногендік факторлардың әсері ажыратылмаған жағдайда қабылданатын алдын алу шаралары негізсіз материалдық шығындарға әкеліп, күтілетін нәтижені қамтамасыз етпейді.

мүмкін. Осыған байланысты техногендік жер беті шөгуін ғылыми негізде және жедел болжаудың маңызы арта түседі. Мұндай болжам кеңістіктік және уақыттық өзгерістерді ескере отырып, зерттелетін нысанның ықтимал жай-күйін ғылыми тұрғыдан бағалауға негізделеді.

Аталған жағымсыз құбылыстарды болжау және олардың салдарын азайту өзекті мәселе болып табылады. Бұл мәселе бойынша Қазақстан Республикасының «Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы», заңында мұнай-газ кәсіпорындарына жер қойнауының өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында жер бетінің жай-күйіне тұрақты мониторинг жүргізу міндеті жүктелген [4].

Зерттеудің мақсаты – мұнай кен орындарын игеру барысында мониторингтік бақылаулар негізінде табиғи-техногендік геодинамикалық үдерістердің өндірістік және экологиялық зардаптарын барынша азайтуды қамтамасыз ету.

Зерттеу нысаны мен пәні

Зерттеу нысаны – Бозашы түбегінде орналасқан кен орындары. Зерттеу пәні – көмірсутектерді өндіру нәтижесінде жер бетінің шөгу процесі.

Зерттеу әдістері

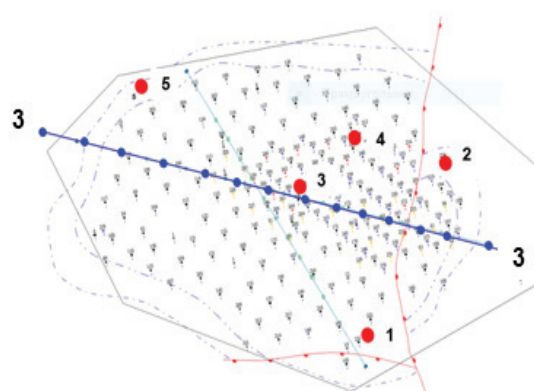
Көмірсутек кен орындарын игеру барысында әртүрлі табиғи-техногендік процестер орын алады. Оларға тектоникалық жарылымдардың белсенділенуі, деформациялық процестер, жер бетінің шөгуі, тау жыныстары массивтерінің көлденең ығысулары жатады. Бұл құбылыстардың әрқайсысы өндірістік және экологиялық тұрғыдан елеулі жағымсыз салдарға әкелуі мүмкін. Сондықтан зерттеуде кешенді ғылыми әдіс қолданылды. Ол зерттелетін ауданның геологиялық және тектоникалық құрылымын талдауды, жер бетінің жылжуын бақылау бойынша кешенді мониторинг жүргізу және тау жыныстары массивінің кернеулі-деформациялық күйін бағалауды қамтиды.

Сонымен қатар қазіргі геодезиялық тәжірибеде заманауи геодезиялық аспаптарды пайдалана отырып тау жыныстары массивінің жай-күйіне мониторинг жүргізудің бірыңғай әдістемесі қалыптаспаған. Осыған байланысты массивтің геодинамикалық жай-күйін бағалау мен болжауға арналған геодезиялық мониторинг әдістерін өндіріске енгізу тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін арттырудың және пайдалы қазбаларды игеру тиімділігін қамтамасыз етудің маңызды ғылыми-практикалық міндеті болып табылады.

Көмірсутек шикізатын игеру кезінде жер қойнауының геодинамикалық жай-күйіне мониторинг жүргізу, сондай-ақ кен орындары аумағындағы бірегей инженерлік құрылыстардың геодинамикалық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсаттары мен міндеттері бақылау жүйелерін ғылыми негізде құруды және оларда кен орнын игерудің барлық кезеңінде үздіксіз мониторингтік бақылаулар ұйымдастыруды талап етеді. Қолда бар геологиялық-геофизикалық және кәсіпшілік-геологиялық материалдарды, сондай-ақ өңірдің сейсмоструктуралық жағдайын талдау геодинамикалық мониторинг жүр-

гізудің үш негізгі тәсілі: деформациялық (Leica WILD NA 3003 аспабымен қайталап нивелирлеу), GPS (Leica GS16) және гравиметриялық (AutoGrav CG-5- 091-гравимер) бақылауларды кешенді қолданудың қажеттілігін көрсетті. Мұнай және газ өндіру аудандарында жер беті қозғалыстарын мониторингтеу кезінде келесі негізгі талаптар қойылады: зерттеу нәтижелерінің ақпараттылығын арттыру, бақылаулардың жеделдігін қамтамасыз ету және зерттеулердің экономикалық тиімділігін жоғарылату [5]. Осы талаптарды негізге ала отырып, Өл-фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті Бозашы түбегі кен орнында жүргізілген зерттеулердің мақсаты айқындалып, ғылыми идеясы негізделіп, негізгі міндеттері тұжырымдалды.

Зерттеу нәтижелері



● – гравиметриялық пункттермен біріктірілген нивелирлеу пункттері; leveling points combined with gravimetric points; нивелирные пункты, совмещенные с гравиметрическими пунктами

● – ГНСС пункттері; GNSS points; ГНСС-пункты

● – ұңғымалар; boreholes; скважины

Сурет 1. «Қаражанбас» геодинамикалық полигоны аумағындағы 3–3 профильдік сызығы бойымен орналасқан пункттердің сызбасы.

Figure 1. Layout of survey stations along Profile Line 3–3 within the Karazhanbas Geodynamic Monitoring Area.

Рис. 1. Схема расположения пунктов по профильной линии 3–3 на территории ГДП «Каражанбас».

Үлкен алқапты алып жатқан, бірнеше кенорындары шоғырланған және әртүрлі терең қабаттарда түзілген Бозашы түбегінде мониторинг жүргізу жоғары дәлдікті геодезиялық негіздемені құруды талап етеді. Осыған байланысты, тірек, ГНСС, нивелирлік, сейсмологиялық, гравиметриялық және радарлық интерферометрия пункттерінен тұратын тармақталған геодинамикалық полигон (ГДП) құрылды және оның профильдік сызықтары әр кен орындарының тектоникалық жарылымдар шоғырланған жерлеріне сәкес орнатылды. 1-суретте жоғары дәлдікті II класты қайталама нивелирлеу 3-3 профилінің сызбасы көрсетілген. Профиль 25 реперді қамтиды және полигонның орталық бөлігін батыстан шығысқа қарай кесіп өтеді.

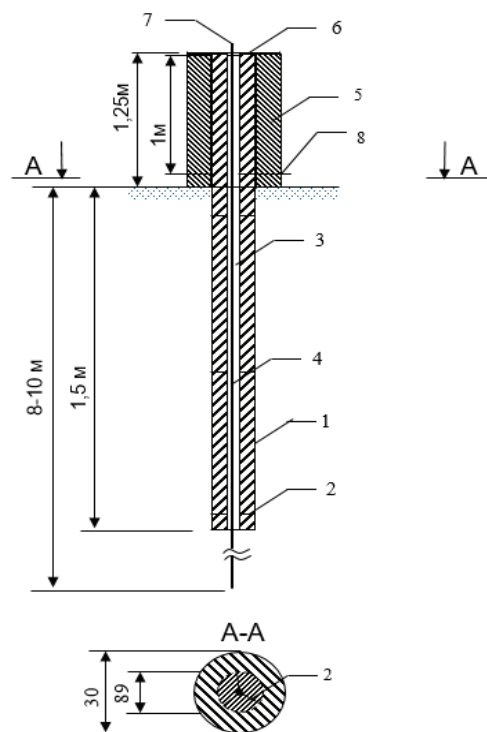
Геодинамикалық полигондардың (ГДП) мыңнан астам реперлерінде жүргізілген көпжылдық бақылаулар далалық жұмыстардың, әсіресе аспаптар жиынтығын (аспаптың өзі, штатив, рейкалар және т. б.) бір пункттен екіншісіне тасымалдаудың аса еңбек сыйымды екенін көрсетті. Осыған байланысты аспаптарды орнатуды жеңілдету, өлшеу жұмыстарын жеделдету, сондай-ақ жер бетінің көлденең және тік ығысу құрамдастарын жоғары дәлдікпен анықтау мақсатында мәжбүрлі центрлеу үстелімен жабдықталған терең тірек пунктінң конструкциясы әзірленді және өндіріске енгізілді (2-сурет).

Терең тірек пунктті геодезия саласына, атап айтқанда, жер беті деформацияларын ұзақ мерзімді мониторингтеуге арналған құрылғыларға жатады. Ол мұнай және газ кен орындарын игеру кезінде, сондай-ақ инженерлік-геологиялық жағдайлары күрделі аумақтарда қолдануға арналған. Ұсынылған конструкцияның техникалық артықшылығы – топырақтың жоғарғы қабаттарының деформацияларының әсерін болдырмау, сонымен қатар штативті қолданбай ақ нивелирлеу және спутниктік бақылаулар жүргізу мүмкіндігін қамтамасыз ету [6].

Геодезиялық аспап штативсіз, мәжбүрлі центрлеу құрылғысының көмегімен тікелей пункттің жоғарғы бөлігіне орнатылады, бұл өлшеулердің дәлдігін арттырып, далалық жұмыстардың өнімділігін жоғарылатады. Пункттің жоғарғы бөлігінде орналасқан тірек пилоны-5 геодезиялық аспапты орнатуға арналған бұрандалы қосылысы бар центрі – 7 қарастырылған орнату рамасымен – 6 жабдықталған. Сонымен қатар, нивелирлік рейканы орнатуға арналған шеткі марка – 8 қарастырылған. Осылайша, бұл конструкция көпэлементті жүйе болып табылады. Мұнда сыртқы құбыр жердің жоғарғы қабаттарымен байланысқан, ішкі құбыр арматуралық тіректер мен М200 маркалы бетон қоспасы арқылы бекітілген, ал металл құбыр тау жыныстары массивінің терең қабаттарына қатаң бекітіледі. Ұсынылған терең реперді пайдалану жер бетімен берік байланысқан металл өзектің центрінің орнын анықтау арқылы жердің жоғарғы қабаттарының тау жыныстары массивіне қатысты ығысуын бағалауға мүмкіндік береді [7].

Терең геодезиялық пункт диаметрі 89 мм болатын металл құбырдан – 1 жасалған. Құбырдың ішінде ұзындығы 1,5 м, диаметрі 25 мм болатын, солидолмен толтырылған екінші құбырды – 3 орналастыруға арналған арматуралық тіректер – 2 орнатылған. Солидолмен толтырылған құбырдың ішіне диаметрі 12 мм болатын металл арматура – 4) енгізіліп, ол 8–10 м тереңдікке дейін топыраққа қағылады. Мұндай терең реперді пайдалану жер бетімен қатаң байланысқан өзектің центрінің орнын анықтау арқылы жердің жоғарғы қабаттарының тау жыныстары массивіне қатысты ығысуын жоғары дәлдікпен бағалауға мүмкіндік береді.

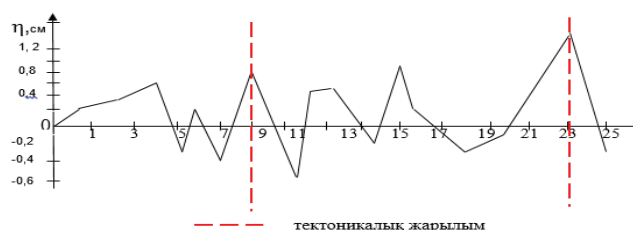
Геодезиялық бақылаулар. «Қаражамбас» геодинамикалық полигонында (ГДП) II класы нивелирлеу Leica WILD NA 3003 сандық лазерлік нивелирі және инварлық рейкалар көмегімен тура және кері бағыттар бойынша қосарланған нивелирлеу әдісімен орындалды. Нивелир үшін дәлдік шегі 0,4 мм болып белгіленді, бұл I класы нивелирлеуге қойылатын талаптарға сәйкес келеді [8].



Сурет 2. Мәжбүрлен центрлеудің ГНСС пункттері.

Figure 2. GNSS Forced-Centering Stations.

Рис. 2. ГНСС-пункты принудительного центрирования.



Сурет 3. «Қаражамбас» геодинамикалық полигонының 1–3 профілі бойынша қайталап нивелирлеу графигі.

Figure 3. Graph of Repeated Leveling Results along Profile Line 1–3 of the Karazhanbas Geodynamic Monitoring Area.

Рис. 3. График результатов повторного нивелирования по профилю 1–3 геодинамического полигона «Қаражамбас».

Профиль пункттерінің ығысулары бойынша жүргізілген өлшеулерді талдау нәтижесінде 2008 жылғы қарашадан 2026 жылғы маусымға дейінгі кезеңде спутниктік координаталық анықтаулар деректері бойынша пункттердің елеулі көлденең ығысулары тіркелмегені анықталды. Ал, биіктік өзгерістеріне (шөгугеріне) келетін болсақ, тек 4 мм-ден асатын вертикаль шөгугер 8 және 25 пункттер ғана ерекше назар аударуды қажет етеді.

2026 жылғы нивелирлеу нәтижелері төмендегідей қорытындылар жасауға мүмкіндік береді:

Кесме 1

Спутниктік және сызықтық өлшеулер нәтижелерінің салыстырмалы талдауы

Table 1

Comparative Analysis of Satellite and Linear Measurement Results

Таблица 1

Сравнительный анализ результатов спутниковых и линейных измерений

Пункттен бастап	Пунктке дейіна	Арақашықтық S Leica GS16	Арақашықтық S Leica TS1201	dS	Салыстырмалықателік
1	2	2359.266	2359.265	0.001	1/1947000
1	3	1962.898	1962.896	0.002	1/1002000
1	4	2276.461	2276.465	-0.004	1/625000
2	3	1220.430	1220.428	0.002	1/663000
2	4	686.720	686.465	0.006	1/625000
4	5	2840.789	2840.796	-0.007	1/386000
Өлшеулердің орташа квадраттық қателігі				0.005	

1. Жер бетінің деформациялану үдерістері үздіксіз сипатқа ие, алайда олардың қарқындылығы уақыт бойынша біркелкі өзгермейді.

2. Деформациялардың ең жоғары жылдамдықтары 2026 жылдар аралығында байқалып, тектоникалық жарылымдар аймақтарына сәйкес келеді.

Реперлердің шөгу шамаларын анықтау нәтижелері қайталама нивелирлеу деректерімен салыстырылды.

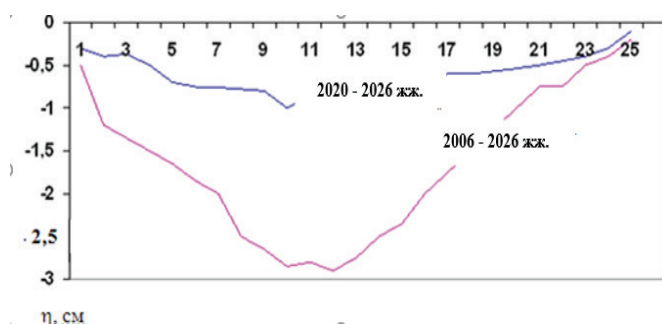
Жерсеріктік бақылаулар. Геодинамикалық полигондағы жер беті деформацияларын бағалау мақсатында орнатылған (1-суреттегі) 5 GPS пункттерінің координаталары анықталды. Спутниктік бақылауларды өңдеу GPS-қабылдағыштарының құрамына кіретін GS16 («Leica», Швейцария) стандартты бағдарламалық қамтамасыз етуі арқылы жүргізілді. Өңдеу нәтижесінде қабылданған жергілікті координаттар жүйесінде 3–3 профильдік сызығы пункттерінің пландық координаталары және реперлердің биіктік белгілері қайтадан анықталды.

Спутниктік өлшеулердің дәлдігін бағалау мақсатында геодинамикалық полигон профилінің негізгі 5 пунктті қосымша Leica TS1201 электрондық тахеометрімен өлшенді. Өлшеу нәтижелерінің салыстырмалы талдауы кестеде келтірілген және бұл кестеден GPS бақылаулары бойынша анықталған координаталардың дәлдігі электрондық тахеометрдің көмегімен алынған өлшеулер дәлдігімен іс жүзінде сәйкес келетінін көрсетті [9].

Осылайша, «Қаражамбас» геодинамикалық полигонда қайталама нивелирлеу өлшеулері цифрлық лазерлік нивелирлерді, электрондық тахеометрлерді және GPS-жабдықтарын пайдалану арқылы жүргізілді, бұл жер беті деформацияларының мониторингі нәтижелерінің жоғары дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз етті.

Келесі 4-суретте «Қаражамбас» геодинамикалық полигонының нивелирлік желісіндегі 3–3 профиль бойынша 2020–2026 жж. және 2006–2026 жж. аралығындағы реперлердің ығысу графиктері көрсетілген.

Қайталама бақылаулар нәтижелерін талдау 2020–2026 жылдар аралығында реперлердің вертикаль ығысуларының шамасы 2–8 мм аралығында өзгергенін көрсетті. Сонымен қатар, неғұрлым ұзақ мерзімді бақылаулар кезеңінде (2006–2026 жж.) вертикаль ығысудың ең үлкен шамасы 2,9 см-ге жеткен. Бұл деформациялық үдерістердің жинақталу сипатын және аумақта ұзақ мерзімді геодинамикалық мониторинг жүргізудің қажеттілігін дәлелдейді.



Сурет 4. «Қаражамбас» геодинамикалық полигонының 1–3 профилі бойынша реперлердің жылдар бойы вертикаль жылжу графиктері.
Figure 4. Annual Vertical Displacement Graphs of Benchmarks along Profile Line 1–3 of the Karazhanbas Geodynamic Monitoring Area.

Рис. 4. Графики вертикальных смещений реперов по профилю 1–3 геодинамического полигона «Қаражамбас» за разные годы.

Далалық өлшеулердің нәтижелері Leica Geo Office мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз етуі арқылы GPS-5 базалық пунктке қатысты өңделді. GPS-5 базалық пунктін координаттары мониторингтің бүкіл кезеңіне тұрақты ретінде бекітілді.

Өлшеулердің сапасы сессиялардың қабысу нүктелеріндегі айырмашылықтар бойынша бағаланды [10].

Қорытынды

1. Кен орындары игерілетін аумақтардағы деформацияларды аспаптық бақылау бойынша отандық және шетелдік геодинамикалық зерттеулерге жан-жақты талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері геодинамикалық полигонда (ГДП) қауіпті геодинамикалық үдерістерді кешенді бағалау мен болжау әдістемесін әзірлеуге негіз болды.

2. Геодинамикалық полигон пункттерінде қайталама бақылаулар жүргізу әдістемесі жетілдірілді. Әдістеме жоғары дәлдікті цифрлық нивелирлеуді, электрондық тахеометрлерді және GPS-технологияларын қолдануға

негізделген кешенді геодезиялық бақылауларды қамтиды. Бұл жер бетінің шөгуді анықтау дәлдігі мен жеделдігін арттыруға, сондай-ақ далалық және камералық геодезиялық жұмыстарды цифрландыру есебінен геодинамикалық мониторингтің тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

3. Кен орны аумағында жүргізілген GPS-өлшеулердің екінші циклының нәтижелерін бірінші цикл деректерімен салыстыру жер беті қозғалыстарының тік және көлденең құрамдастарының аумақтық таралуындағы негізгі заңдылықтар мен даму үрдістерін анықтауға мүмкіндік берді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Chang L., Ku O., Hanssen R. InSAR көмегімен мұнай бергіштігін арттырудан (EOR) туындаған деформация сипатының өзгерістерін анықтау // *International Journal of Remote Sensin.* – 2019. – Т. 40. – № 4. – Б. 1495–1505 (ағылшын тілінде)
2. Ашихмин С. Г. Көмірсутек кен орындарын игеру кезінде тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін болжау әдістемелерінің ерекшеліктері // *Ресейдің минералдық ресурстары. Экономика және басқару.* – 2008. – № 2. – Б. 38–41 (орыс тілінде)
3. Күлдеев Е. И., Нұрпейісова М. Б., Қырғызбаева Г. М. Жер қойнауын игеру және экологиялық қауіпсіздік. – Германия: LAP LAMBERT, 2021. – 234 б. (орыс тілінде)
4. Қазақстандағы Теңіз мұнай кен орнындағы өндірістік мониторинг бағдарламаларын толықтыру мақсатында InSAR-дың көру сызығы бағытындағы өлшемдерін 3D және 2D декомпозициялау арқылы алынған тік және көлденең деформацияларды сандық бағалау / Е. Бауғатов [және т. б.] // *Remote Sensing.* – 2021. – Т. 13. – № 13. – 2579 (ағылшын тілінде)
5. Попков В. И., Попков И. В. Тұран плитасының батысындағы Бозащы мұнай-газ жинақталу аймағының тектоникасы // *Мұнай және газ геологиясы.* – 2024. – № 2. – Б. 5–18 (орыс тілінде)
6. Сапарбекова М. А., Өмірова Г. К., Ахметов Е. М. Солтүстік Бозащы кен орнындағы жер қойнауының геодинамикалық мониторингі // *Халықаралық Сәтбаев оқуларының еңбектері.* – 2015. – Т. III. – Б. 49–54 (орыс тілінде)
7. Қазақстан Республикасының №10736 патенті, 20.05.2025 ж. «Мәжбүрлі центрлеудің тұрақты пункті» / Мейрамбек Г., Рысбеков Қ. Б., Нұрпейісова М. Б., Солтабаева С. Т. [және т. б.] (орыс тілінде)
8. Nurpeisova M. B., Sarybaiev O. A., Kurmanbaiev O. S. Кен орындарын құрама тәсілмен игеру кезіндегі геомеханикалық процестердің даму заңдылықтарын зерттеу // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2016. – Шығ. 4. – Б. 30–36 (ағылшын тілінде)
9. Қытайдың Шыңжаң аймағындағы Фэнчэн мұнай кен орнында сұйықтықты немесе газды айдау нәтижесінде жер бетінің деформацияларын мониторингтеу және талдау / J. Shi [және т. б.] // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing.* – 2019. – Т. 47. – № 11. – Б. 455–466 (ағылшын тілінде)
10. Кенесбаева А., Нұрпейісова М., Левин Е. Көмірсутектерді өндіру кезіндегі деформациялық процестерді GPS-мониторингтеу // «Пайдалы қазбаларды игеру мәселелері XXI ғасырда жастар көзімен» XIV халықаралық жас ғалымдар мен мамандар ғылыми мектебінің еңбектер жинағы. – М.: РПА ИПКОН, 2019. – Б. 125–130 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Chang L., Ku O., Hanssen R. Identification of deformation pattern changes caused by enhanced oil recovery (EOR) using InSAR // *International Journal of Remote Sensing.* – 2019. – Vol. 40. – No. 4. – P. 1495–1505 (in English)
2. Ashikhmin S. G. Osobennosti metodik prognozirovaniia napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia porod pri razrabotke mestorozhdenii uglevodorodov [Specific Features of Methods for Predicting the Stress–Strain State of Rocks during Hydrocarbon Field Development] // *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie [Mineral Resources of Russia. Economics and Management].* – 2008. – No. 2. – P. 38–41 (in Russian)
3. Kuldeev E. I., Nurpeisova M. B., Kyrgyzbaeva G. M. Osvoenie nedr i ekologicheskaiia bezopasnost' [Subsoil Development and Environmental Safety]. – Deutschland: LAP LAMBERT, 2021. – 234 p. (in Russian)

4. *Quantitative Assessment of Vertical and Horizontal Deformations Derived by 3D and 2D Decompositions of InSAR Line-of-Sight Measurements to Supplement Industry Surveillance Programs in the Tengiz Oilfield (Kazakhstan)* / E. Bayramov et al. // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – No. 13. – Article 2579 (in English)
5. Popkov V. I., Popkov I. V. *Tektonika Buzachinskoi zony neftegazonakopleniia na zapade Turanskoi plity* [Tectonics of the Buzachi Oil and Gas Accumulation Zone in the West of the Turan Plate] // *Geologiya nefti i gaza* [Oil and Gas Geology]. – 2024. – No. 2. – P. 5–18 (in Russian)
6. Saparbekova M. A., Umirova G. K., Akhmetov E. M. *Geodinamicheskii monitoring neдр na mestorozhdenii Severnye Buzachi* [Geodynamic Monitoring of the Subsoil at the Severnye Buzachi Field] // In: *Trudy mezhdunarodnykh Satpaevskikh chtenii* [Proceedings of the International Satpayev Readings]. – 2015. – Vol. III. – P. 49–54 (in Russian)
7. Patent RK No. 10736 dated 20.05.2025. *Postoiannyi punkt prinuditel'nogo tsentrirovaniia* [Permanent Forced-Centering Station] / Meirambek G., Rysbekov K. B., Nurpeissova M. B., Soltabaeva S. T. et al. (in Russian)
8. Nurpeissova M. B., Sarybaiev O. A., Kurmanbaiev O. S. *Study of regularity of geomechanical processes development while developing deposits by the combined way* // *Scientific Bulletin of the National Mining University*. – 2016. – Issue 4. – P. 30–36 (in English)
9. *InSAR Monitoring and Analysis of Ground Deformation Due to Fluid or Gas Injection in Fengcheng Oil Field, Xinjiang, China* / J. Shi et al. // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 47. – No. 11. – P. 455–466 (in English)
10. Kenesbaeva A., Nurpeissova M., Levin E. *GPS-monitoring deformatsionnykh protsessov pri dobyche uglevodorodov* [GPS Monitoring of Deformation Processes during Hydrocarbon Extraction] // In: *Sbornik trudov 14 Mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov* [Proceedings of the 14th International Scientific School for Young Scientists and Specialists]. – Moscow: IPKON RAS, 2019. – P. 125–130 (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chang L., Ku O., Hanssen R. *Выявление изменений характера деформаций, вызванных повышением нефтеотдачи (EOR), с использованием InSAR* // *International Journal of Remote Sensing*. – 2019. – Т. 40. – № 4. – С. 1495–1505 (на английском языке)
2. Ашихмин С. Г. *Особенности методик прогнозирования напряженно-деформированного состояния пород при разработке месторождений углеводородов* // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. – 2008. – № 2. – С. 38–41 (на русском языке)
3. Кульдеев Е. И., Нурпеисова М. Б., Кыргызбаева Г. М. *Освоение недр и экологическая безопасность*. – Германия: LAP Lambert, 2021. – 234 с. (на русском языке)
4. *Количественная оценка вертикальных и горизонтальных деформаций, полученных посредством 3D- и 2D-декомпозиции измерений InSAR в направлении линии визирования, для дополнения программ производственного мониторинга на Тенгизском нефтяном месторождении (Казахстан)* / E. Bayramov [и др.] // *Remote Sensing*. – 2021. – Т. 13. – № 13. – Ст. 2579 (на английском языке)
5. Попков В. И., Попков И. В. *Тектоника Бузачинской зоны нефтегазонакопления на западе Туранской плиты* // *Геология нефти и газа*. – 2024. – № 2. – С. 5–18 (на русском языке)
6. Сапарбекова М. А., Умирова Г. К., Ахметов Е. М. *Гдинамический мониторинг недр на месторождении Северные Бузачи* // *Труды межд. Сатпаевских чтений*. – 2015. – Т. III. – С. 49–54 (на русском языке)
7. Патент РК № 10736 от 20.05.2025. *Постоянный пункт принудительного центрирования* / Мейрамбек Г., Рысбеков К. Б., Нурпеисова М. Б., Солтабаева С. Т. [и др.] (на русском языке)
8. Nurpeissova M. B., Sarybaiev O. A., Kurmanbaiev O. S. *Исследование закономерностей развития геомеханических процессов при разработке месторождений комбинированным способом* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2016. – Вып. 4. – С. 30–36 (на английском языке)
9. *Мониторинг и анализ деформаций земной поверхности вследствие закачки жидкости или газа на нефтяном месторождении Фэнчэн, Синьцзян, Китай* / J. Shi [и др.] // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. – 2019. – Т. 47. – № 11. – С. 455–466 (на английском языке)
10. Кенесбаева А., Нурпеисова М., Левин Е. *GPS-мониторинг деформационных процессов при добыче углеводородов* // *Сборник трудов XIV Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых»*. – М.: ИПКОН РАН, 2019. – С. 125–130 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Құрманбаев Р. С., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің докторанты (Алматы қ., Қазақстан), rusya.kmg@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8060-036X>

Кенесбаева А., Ph.D, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), a.kenesbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0869-5762>

Құрманбаев О. С., Ph.D, доцент, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), olzhas_ak@list; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Бен Джарихани, Ph.D, Жер және қоршаған орта ғылымдары бойынша аға оқытушы, Орталық Азия университеті (Квинсленд, Австралия), bjarihan@usc.edu.au; <https://orcid.org/0000-0002-1728-0008>

Information about the authors:

Kurmanbayev R. S., Ph.D student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Kenesbayeva A., Ph.D, associated professor, Department of «Mining survey and Geodesy» at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

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

Ben Jarihani, Ph.D, Senior Lecturer, Earth and Environmental Sciences, School of Arts and Sciences, University of Central Asia, and at the Institute of Mountain Societies Research (Queensland, Australia)

Сведения об авторах:

Құрманбаев Р. С., докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Кенесбаева А., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Құрманбаев О. С., Ph. D, доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Бен Джарихани, Ph.D, ст. преподаватель по наукам о Земле и окружающей среде, Школа искусств и наук, Университет Центральной Азии, Институт исследований горных сообществ (Квинсленд, Австралия)



SAM Semi-autogenous and Autogenous Mills

Christian Pfeiffer specializes in producing customized AG/SAG mills and ball mills that are designed to meet the specific requirements.

We also offer the flexibility to adapt the design to existing foundations making it easier to replace existing mills.

Contact us today for more information on our tailored mill solutions.

www.christianpfeiffer.com



**CHRISTIAN
PFEIFFER**

Код МРНТИ 52.35.29

Н. М. Замалиев, *В. Н. Долгоносков, И. М. Шмидт-Федотова, А. Н. Шулепин
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ СЛОИСТЫХ И НАРУШЕННЫХ ПОРОД КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

Аннотация. В статье обоснованы параметры анкерного крепления подготовительных выработок в слоистых и тектонически нарушенных породах Карагандинского угольного бассейна. По результатам геолого-структурного анализа, натурных наблюдений и расчетов определены высота свода естественного равновесия, рациональные длина и шаг анкеров, распределение нагрузки между уровнями крепи. Установлено, что при высоте свода более 1,3 м, развитой трещиноватости и слабых алевролит-аргиллитовых прослоях требуется двухуровневое анкерование. Длина анкеров составляет 2,0–2,6 м, шаг – 0,8–1,2 м. Такая система снижает раскрытие межслоевых трещин на 32–45%, прогиб кровли на 26–38% и вероятность разрушения в 2,6–3,1 раза. Результаты применимы при разработке паспортов крепления и адаптации анкерования к геомеханическим условиям.

Ключевые слова: анкерная крепь, Карагандинский угольный бассейн, устойчивость кровли, свод естественного равновесия, двухуровневая крепь, длина анкеров, шаг анкеров, геомеханические условия.

Қарағанды көмір бассейнінің қабатты және бұзылған жыныстарында дайындық тау-кен қазбаларын анкерлік бекітудің параметрлерін негіздеу

Аннотация. Мақалада Қарағанды көмір бассейнінің қабатты және тектоникалық бұзылған жыныстарындағы дайындық қазбаларын анкерлік бекіту параметрлері негізделген. Геологиялық-құрылымдық талдау, натурлық бақылаулар және есептеулер бойынша табиғи тепе-теңдік күмбезінің биіктігі, анкерлердің ұтымды ұзындығы мен қадамы, сондай-ақ бекітпе деңгейлері арасындағы жүктеменің таралуы анықталды. Күмбез биіктігі 1,3 м-ден асқанда, жарықшақтылық дамыған және әлсіз алевролит-аргиллит қабатшалары болған жағдайда екі деңгейлі анкерлеу қажет. Анкерлердің ұзындығы 2,0–2,6 м, орнату қадамы 0,8–1,2 м. Бұл жүйе қабатшалық жарықтардың ашылуын 32–45%, төбе иілуін 26–38% азайтып, бұзылу ықтималдығын 2,6–3,1 есе төмендетеді. Нәтижелер бекіту паспорттарын әзірлеуге арналған.

Түйінді сөздер: анкерлік бекітпе, Қарағанды көмір бассейні, төбе тұрақтылығы, табиғи тепе-теңдік күмбезі, екідеңгейлі бекітпе, анкер ұзындығы, анкер қадамы, геомеханикалық жағдайлар.

Substantiation of rock bolt support parameters for development workings in layered and disturbed rock masses of the Karaganda coal basin

Abstract. The article substantiates rock-bolt support parameters for development workings in layered and tectonically disturbed rocks of the Karaganda Coal Basin. Geological-structural analysis, field observations, and engineering calculations were used to determine the natural equilibrium arch height, rational bolt length and spacing, and load distribution between support levels. Two-level bolting is required when the arch height exceeds 1.3 m, fracturing is developed, and weak siltstone-mudstone interlayers are present. Rational bolt length is 2.0–2.6 m, with spacing of 0.8–1.2 m. The system reduces interlayer crack opening by 32–45%, roof deflection by 26–38%, and failure probability by 2.6–3.1 times. The results can be used in support design documentation.

Key words: rock bolt support, Karaganda Coal Basin, roof stability, natural equilibrium arch, two-level support, bolt length, bolt spacing, geomechanical conditions.

Введение

Увеличение глубины разработки в Карагандинском угольном бассейне сопровождается ростом горного давления, трещинообразованием и снижением естественной несущей способности кровли. Наиболее опасным механизмом является межслоевое расслоение алевролит-аргиллитовых толщ: при ослабленном сцеплении между слоями формируются зоны отрыва, клиновидные блоки и свод естественного равновесия, параметры которого зависят от пролета выработки, прочности и структурной нарушенности массива [1, 2].

Анкерная крепь объединяет отдельные слои в армированную несущую систему и ограничивает раскрытие трещин. Ее эффективность определяется соответствием длины, шага и схемы анкерования фактической высоте нарушенной зоны. Цель работы – разработать расчетно-прикладной подход к выбору одноуровневой или двухуровневой системы на основе геомеханической модели, несущей способности анкеров и результатов наблюдений [3, 4].

Методы и материалы

Геомеханическая модель кровли

Устойчивость кровли оценивалась по схеме формирования свода естественного равновесия (рис. 1).

В модели потеря межслоевого сцепления приводит к образованию криволинейной поверхности разрушения, а высота потенциально неустойчивой зоны определяется шириной выработки и коэффициентом структурной нарушенности [3].

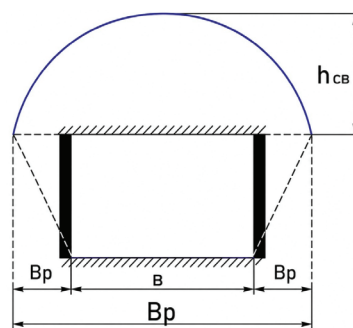


Рис. 1. Расчетная схема определения высоты свода естественного равновесия.

Сурет 1. Табиғи тепе-теңдік күмбезінің биіктігін анықтауға арналған есептік сұлба.

Figure 1. Calculation scheme for determining the height of the natural equilibrium arch.

Высота свода определяется по выражению (1):

$$h_{\text{св}} = k \cdot B, \quad (1)$$

где $h_{\text{св}}$ – высота свода естественного равновесия, м;

k – коэффициент структурной нарушенности, безразмерный;

B – ширина выработки по почве, м.

Для выработок шириной 4,5–5,2 м расчетная высота свода составляет 1,2–2,1 м, поэтому в армируемую зону необходимо включать 2–4 слоя кровли.

Условие межслоевого разрушения принимается в виде (2):

$$\tau_d > \tau_{\text{кр}}, \quad (2)$$

где τ_d – действующее касательное напряжение на межслоевом контакте, МПа;

$\tau_{\text{кр}}$ – критическое межслоевое сцепление, определяемое лабораторными испытаниями, МПа.

Схемы анкерного крепления

Рассмотрены одноуровневая и двухуровневая схемы крепления (рис. 2).

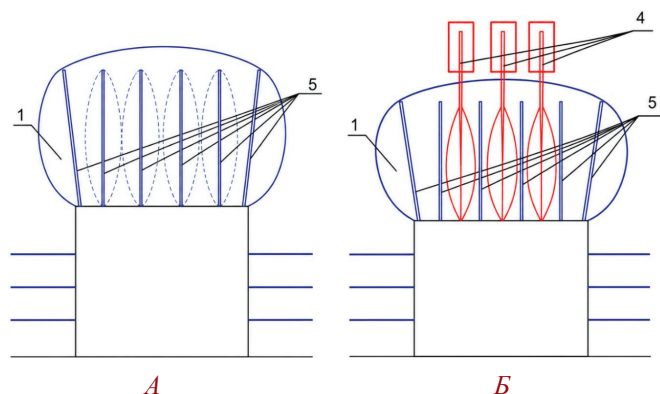


Рис. 2. Одноуровневая (А) и двухуровневая (Б) схемы крепления кровли: 1 – зона упрочнения анкерами; 4 – канатные анкеры; 5 – сталеполимерные анкеры.

Сурет 2. Қазба төбесін бірденгейлі (А) және екіденгейлі (Б) бекіту сұлбалары: 1 – анкерлермен бекемделген аймақ; 4 – арқанды анкерлер; 5 – болат-полимерлі анкерлер.

Figure 2. Single-level (A) and two-level (B) roof-support schemes: 1 – bolt-reinforced zone; 4 – cable bolts; 5 – steel-polymer bolts.

Одноуровневая схема эффективна при мощных однородных слоях и невысокой трещиноватости. Двухуровневая схема формирует поверхностный и глубинный силовые горизонты, связывает слабые контакты и обеспечивает совместную работу нескольких слоев кровли [4].

Двухуровневая схема применяется при высоте свода более 1,3 м, развитой трещиноватости, наличии слабых алевролитов-аргиллитовых прослоев и в зоне влияния очистных работ.

Расчеты выполнены по литолого-структурной модели породного разреза (рис. 4), учитывающей мощность и прочность слоев, а также положение ослабленных контактов [5].

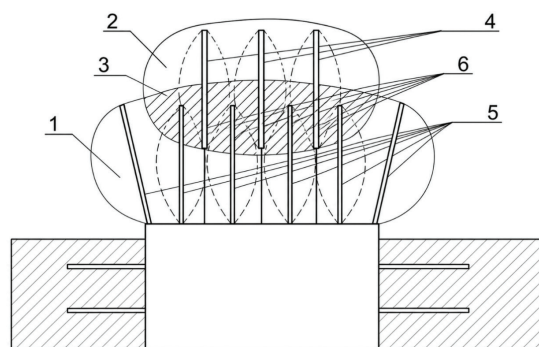


Рис. 3. Двухуровневое крепление кровли: 1 – зона упрочнения сталеполимерными анкерами; 2 – зона упрочнения канатными анкерами; 3 – соединение зон; 4 – канатные анкеры; 5 – сталеполимерные анкеры; 6 – зона максимального упрочнения.

Сурет 3. Қазба төбесін екіденгейлі бекіту: 1 – болат-полимерлі анкерлермен бекемделген аймақ; 2 – арқанды анкерлермен бекемделген аймақ; 3 – аймақтардың байланысы; 4 – арқанды анкерлер; 5 – болат-полимерлі анкерлер; 6 – максималды бекемдеу аймағы.

Figure 3. Two-level roof support: 1 – zone reinforced by steel-polymer bolts; 2 – zone reinforced by cable bolts; 3 – connection of the zones; 4 – cable bolts; 5 – steel-polymer bolts; 6 – maximum reinforcement zone.

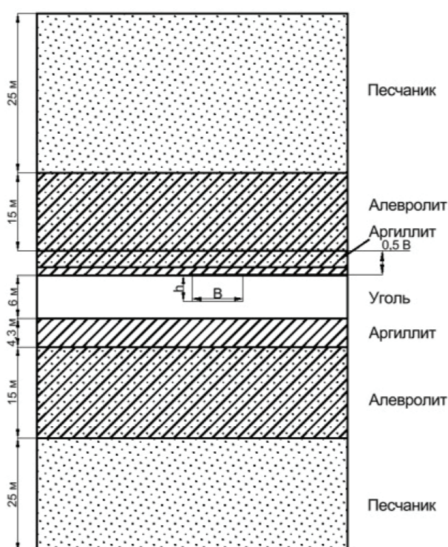


Рис. 4. Расчетная схема определения параметров крепления горной выработки.

Сурет 4. Тау-кен қазбасының бекіту параметрлерін анықтауға арналған есептік сұлба.

Figure 4. Calculation scheme for determining roadway support parameters.

Разрез представлен чередованием алевролитов прочностью 12–25 МПа, аргиллитов 10–20 МПа и песчаников 30–45 МПа. Мощность слоев составляет 0,1–1,5 м, межслоевое сцепление – 0,08–0,25 МПа. Наиболее слабые контакты залегают на расстоянии 1,2–1,8 м от кровли, поэтому минимальная длина анкера определяется выражением (3):

$$L_a \geq h_{cb} + \Delta, \quad (3)$$

где L_a – минимальная расчетная длина анкера, м;
 h_{cb} – высота свода естественного равновесия, м;
 Δ – запас длины для закрепления анкера в устойчивом слое, м; принимается $\Delta = 0,3-0,5$ м.

Для рассматриваемых условий расчетная длина анкеров составляет 1,8–2,4 м.

Расчет нагрузки, несущей способности и шага анкеров.

Расчет выполнялся по инженерным номограммам с проверкой нагрузки на один анкер, его несущей способности и допустимого шага установки.

Расчетная погонная нагрузка, приходящаяся на одну анкерную линию в продольном направлении выработки, определяется по выражению (4):

$$P_a = \frac{\gamma \cdot h_{cb} \cdot B}{n}, \quad (4)$$

где P_a – расчетная погонная нагрузка, приходящаяся на одну анкерную линию, кН/м;

γ – удельный вес пород кН/м³;

h_{cb} – высота свода, м;

B – ширина выработки, м;

n – количество анкеров в поперечном ряду, безразмерная величина.

Полученный диапазон расчетной погонной нагрузки составляет 30–85 кН/м.

Несущая способность анкера принимается по выражению (5):

$$R_a = R_s + R_c, \quad (5)$$

где R_a – расчетная несущая способность анкера, кН;

R_s – составляющая несущей способности, определяемая сопротивлением анкерного стержня, кН;

R_c – составляющая несущей способности, определяемая сцеплением анкера с породным массивом, кН.

При расчете учитывались диаметр, длина закрепления, предел текучести стали и сцепление с вмещающими породами.

Допустимый шаг установки определяется по выражению (6):

$$S = \sqrt{\frac{R_a}{P_a}}, \quad (6)$$

где S – максимально допустимый шаг установки анкеров в продольном направлении выработки, м;

R_a – расчетная несущая способность одного анкера, кН;

P_a – расчетная погонная нагрузка, приходящаяся на одну анкерную линию, кН/м.

Для условий бассейна рациональный шаг составляет 0,8–1,2 м.

Результаты

Расчеты выполнены для подготовительных выработок шириной 4,8–5,2 м. Полученные параметры сопоставлены с наблюдаемыми деформациями и условиями эксплуатации в Карагандинском угольном бассейне.

Расчетные параметры и устойчивость кровли.

Высота свода естественного равновесия составляет 1,3–2,2 м. Рост коэффициента структурной нарушенности от 0,28 до 0,44 увеличивает ее на 34–41%. Для алевролитов и аргиллитов переход к неустойчивому состоянию наиболее вероятен на глубинах свыше 400–480 м; анкерование должно объединять не менее трех слоев кровли [6].

Рациональная длина анкеров составляет 2,0–2,4 м в устойчивых зонах и 2,4–2,6 м в слабых алевролитовых горизонтах. Увеличение длины от 1,6 до 2,4 м снижает раскрытие межслоевых трещин в среднем на 38%.

В двухуровневой системе верхний горизонт воспринимает около 70% суммарной нагрузки, нижний – около 30% и фиксирует слабые контакты. Оптимальный шаг составляет 0,8–1,2 м, а в зонах повышенного давления уменьшается до 0,8–0,9 м [7].

Сравнение одноуровневой и двухуровневой систем.

Одноуровневое анкерование отличается простотой монтажа, однако снижает деформации кровли только на 14–21% и не ограничивает развитие глубинных трещин.

Двухуровневая система снижает раскрытие трещин на 32–45%, прогиб кровли на 26–38% и вероятность разрушения в 2,6–3,1 раза. При высоте свода более 1,3 м ее следует рассматривать как обязательное решение [8].

Работа крепи в зоне влияния очистных работ.

На расстоянии 20–50 м от очистного забоя нагрузка на кровлю возрастает на 35–50%, межслоевое сцепление снижается на 20–30%, а смещения увеличиваются на 30–40%. При двухуровневом анкерировании раскрытие контактов ограничивается 8–12 мм вместо 20–28 мм, а прогиб кровли – 22–30 мм вместо 40–55 мм при одноуровневой схеме. Критическое состояние массива при этом не достигается.

Рекомендуемые параметры.

Параметры крепи дифференцированы по устойчивости кровли и уровню горного давления. Для участков с устойчивой кровлей допускаются анкеры длиной 1,8–2,0 м при шаге 1,0–1,2 м. При подтвержденной однородности массива может применяться одноуровневая схема. В слоистых и слабоустойчивых зонах рекомендуются анкеры длиной 2,2–2,4 м при шаге 0,9–1,1 м. Крепление должно выполняться по двухуровневой схеме с фиксацией слабых межслоевых контактов.

В зонах повышенного опорного давления и подработанных массивах рациональны анкеры длиной 2,4–2,6 м при шаге 0,8–0,9 м. Повышенная плотность установки необходима для восприятия неравномерных и динамических нагрузок.

Включение 3–4 слоев кровли в совместную работу снижает деформации в 1,5–2 раза и обеспечивает соответствие несущей способности крепи расчетной нагрузке.

Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что устойчивость кровли определяется не только прочностью отдельных слоев, но прежде всего состоянием межслоевых контактов. Одноуровневая крепь удерживает поверхностную часть массива, тогда как двухуровневая система связывает слабые контакты с устойчивыми горизонтами: короткие сталеполимерные анкеры формируют армированную балку, а канатные анкеры передают нагрузку в глубину. Такой механизм обеспечивает совместную работу 3–4 слоев и

соответствует современным представлениям об управлении слоистой кровлей [5, 9].

Критическими параметрами являются длина и шаг анкеров. Закрепление в устойчивом слое при длине 2,0–2,6 м ограничивает раскрытие трещин, а шаг 0,8–1,0 м обеспечивает равномерное распределение усилий. Увеличение шага до 1,2–1,3 м повышает деформации на 18–24%. Натурные наблюдения подтверждают, что двухуровневая система устойчивее к динамическим нагрузкам, подработке и изменению водонасыщения пород, а вероятность аварийных проявлений снижается примерно в 2,5–3 раза [10].

При одноуровневом анкероании закрепляется преимущественно приконтурный слой, поэтому раскрытие глубинных контактов продолжается даже при удовлетворительном состоянии поверхности кровли. Двухуровневое крепление создает связанную систему: первый уровень формирует жесткую армированную балку, второй передает усилия за пределы нарушенной зоны. Такое распределение препятствует развитию клина отрыва и снижает концентрацию касательных напряжений на границах слоев.

Увеличение длины анкеров с 1,8 до 2,4 м обеспечивает закрепление в более устойчивом горизонте и уменьшает раскрытие трещин на 35–40%. Анкеры короче 1,8 м не пересекают наиболее слабые контакты, расположенные на глубине 1,2–1,8 м, поэтому их применение на глубоких горизонтах не обеспечивает требуемого запаса устойчивости.

Шаг установки определяет равномерность передачи нагрузки. Интервал 0,8–1,0 м компенсирует локальную неоднородность пород и ограничивает развитие участков повышенной деформации. При увеличении шага до 1,2–1,3 м возрастает прогиб кровли и снижается эффективность совместной работы анкеров, особенно в зоне влияния очистного забоя.

При динамических воздействиях, подработке и изменении направления опорного давления одноуровневая схема характеризуется нелинейным ростом смещений. В двухуровневой системе нагрузка перераспределяется между горизонтами крепи, поэтому локальное ослабление отдельного слоя не приводит к немедленной потере устойчивости всей кровли.

Сопоставление расчетов с натурными наблюдениями подтверждает устойчивость предложенных диапазонов длины и шага анкеров. Улучшение состояния кровли наблюдается также при изменении влажности и водонасыщения пород; одновременно ограничиваются боковые смещения в зоне сопряжения «кровля – бок», что повышает общую эксплуатационную надежность выработки.

Практическое применение результатов предполагает предварительное уточнение литологического строения кровли, глубины слабых контактов и фактических смещений на конкретном участке. Расчетные параметры должны проверяться инструментальным контролем после установки крепи. При выявлении роста расслоений, изменения водонасыщения или увеличения зоны опорного давления длина и плотность анкеров корректируются без изменения общей двухуровневой концепции.

Заключение

Для выработок шириной 4,8–5,2 м высота свода естественного равновесия составляет 1,3–2,2 м; доминирую-

щим механизмом потери устойчивости является межслоевой сдвиг в алевролито-аргиллитовых породах.

Рациональная длина анкеров составляет 1,8–2,6 м, при этом в слабых и подработанных зонах следует применять диапазон 2,2–2,6 м. Оптимальный шаг установки равен 0,8–1,2 м и уменьшается до 0,8–0,9 м при повышенном горном давлении.

Двухуровневая система обеспечивает снижение раскрытия трещин на 32–45%, прогиба кровли на 26–38% и вероятности разрушения в 2,6–3,1 раза. Одноуровневая схема допустима только при мощной однородной и умеренно трещиноватой кровле.

Предложенный расчетный подход учитывает структуру массива, положение слабых контактов, глубину разработки и действующую нагрузку. Он может применяться при разработке паспортов крепления и выборе параметров анкерования для конкретных участков шахт Карагандинского угольного бассейна.

Одноуровневое анкерование целесообразно только в мощных однородных слоях при умеренной трещиноватости. В слоистых породах оно не фиксирует глубинные контакты и не обеспечивает устойчивость при росте опорного давления.

Минимальный шаг 0,8–0,9 м рекомендуется в зоне влияния очистных работ и на участках повышенного горного давления. Увеличение шага до 1,3 м сопровождается ростом деформаций кровли на 18–24%.

Расчетная нагрузка на один анкер изменяется в пределах 30–85 кН. При снижении прочности пород ниже 25–30 МПа нагрузка возрастает на 40–50%, что требует применения двухуровневой схемы и закрепления в устойчивом горизонте.

В зоне влияния очистных работ двухуровневая крепь ограничивает раскрытие трещин величиной 8–12 мм и прогиб кровли 22–30 мм. Эти значения соответствуют устойчивому состоянию массива при действии статических и динамических нагрузок.

Разработанная методика может использоваться при проектировании паспортов крепления, поскольку объединяет расчет высоты нарушенной зоны, проверку несущей способности и выбор шага анкеров. Входными параметрами являются ширина выработки, структурная нарушенность, мощность и прочность слоев, положение ослабленных контактов и расчетная нагрузка.

Промышленное применение требует контроля фактической работы крепи на опытном участке. Сопоставление расчетных и измеренных смещений позволяет уточнить коэффициент структурной нарушенности и адаптировать параметры для других выработок шахтного поля. Такой порядок снижает риск необоснованного уменьшения длины анкеров и обеспечивает технологически управляемый переход от одноуровневой к двухуровневой схеме.

Благодарность

Данное исследование выполнено при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной и научно-технической программы ИПН BR24992803.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование условий динамических разрушений в массивах скальных пород / Э. В. Каспарьян [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4. – С. 69–84 (на русском языке)
2. Голик В. И. Подземная разработка месторождений. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 117 с. (на русском языке)
3. Обеспечение безопасного геомеханического состояния массива пород вокруг горных выработок Карагандинского угольного бассейна / N. Zholmagambetov [и др.] // Mining of Mineral Deposits. – 2023. – Т. 17. – № 1. – С. 74–83 (на английском языке)
4. Применение горно-геофизических методов для решения геологических задач / А. В. Садчиков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 6. – С. 109–124 (на русском языке)
5. Brady B. H. G., Brown E. T. Механика горных пород при подземной разработке месторождений. – Springer, 2013. – 640 с. (на английском языке)
6. Инициирование и распространение горно-индуцированных трещин при подземной добыче угля в лессово-балочном регионе / W. Bai [и др.] // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – Ст. 8867 (на английском языке)
7. Cao R., Cao P., Lin H. Технология крепления глубоких горных выработок при высоком напряженном состоянии // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Т. 26. – № 5. – С. 787–793 (на английском языке)
8. Cui Z., Sheng Q., Leng X. Влияние геологического разрыва на сейсмическую устойчивость подземной каверны // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2018. – Т. 77. – С. 265–282 (на английском языке)
9. Геомеханические условия проведения пересекающих горных выработок / Г. Д. Танекеева [и др.] // Уголь. – 2023. – № 2. – С. 31–33 (на русском языке)
10. Повышение эффективности бурильных работ при анкерном креплении горных выработок угольных шахт / А. Б. Ефременков [и др.] // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 4 (19). – С. 62–72 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жартас массивтеріндегі динамикалық бұзылу жағдайларын зерттеу / Э. В. Каспарьян [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2020. – № 4. – Б. 69–84 (орыс тілінде)
2. Голик В. И. Кен орындарын жерасты тәсілімен игеру. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 117 б. (орыс тілінде)
3. Қарағанды көмір бассейніндегі тау-кен қазбаларын қоршаған жыныс массивінің қауіпсіз геомеханикалық жағдайын қамтамасыз ету / N. Zholmagambetov [және т. б.] // Mining of Mineral Deposits. – 2023. – Т. 17. – № 1. – Б. 74–83 (ағылшын тілінде)
4. Геологиялық міндеттерді шешуде тау-кен-геофизикалық әдістерді қолдану / А. В. Садчиков [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2025. – № 6. – Б. 109–124 (орыс тілінде)
5. Brady B. H. G., Brown E. T. Жерасты кен өндірудегі тау жыныстары механикасы. – Springer, 2013. – 640 б. (ағылшын тілінде)
6. Лесс-жырала аймақта жерасты көмір өндіру кезіндегі тау-кен әсерінен туындайтын жарықтардың басталуы мен таралуы / W. Bai [және т. б.] // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – 8867 (ағылшын тілінде)
7. Cao R., Cao P., Lin H. Жоғары кернеулі жағдайдағы терең тау-кен қазбаларын бекіту технологиясы // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Т. 26. – № 5. – Б. 787–793 (ағылшын тілінде)
8. Cui Z., Sheng Q., Leng X. Геологиялық жарылымның жерасты қуысының сейсмикалық тұрақтылығына әсері // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2018. – Т. 77. – Б. 265–282 (ағылшын тілінде)
9. Қиылысатын тау-кен қазбаларын жүргізудің геомеханикалық жағдайлары / Г. Д. Танекеева [және т. б.] // Уголь. – 2023. – № 2. – Б. 31–33 (орыс тілінде)
10. Көмір шахталарында қазбаларды анкерлік бекіту кезіндегі бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыру / А. Б. Ефременков [және т. б.] // Тау-кен ісінің техникасы мен технологиясы. – 2022. – № 4 (19). – Б. 62–72 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Issledovanie uslovii dinamicheskikh razrushenii v massivakh skal'nykh porod [Investigation of dynamic failure conditions in rock masses] E. V. Kasparyan et al. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – 2020. – No. 4. – P. 69–84 (in Russian)
2. Golik V. I. Podzemnaia razrabotka mestorozhdenii [Underground Mining of Mineral Deposits]. – Moscow: INFRA-M, 2025. – 117 p (in Russian)

3. *Ensuring a safe geomechanical state of the rock mass surrounding mine workings in the Karaganda Coal Basin* / N. Zholtmagambetov et al. // *Mining of Mineral Deposits*. – 2023. – Vol. 17. – No. 1. – P. 74–83 (in English)
4. *Primenenie gorno-geofizicheskikh metodov dlya resheniya geologicheskikh zadach [Application of mining-geophysical methods to geological problems]* A. V. Sadchikov et al. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – 2025. – No. 6. – P. 109–124 (in Russian)
5. Brady B. H. G., Brown E. T. *Rock Mechanics for Underground Mining*. – Springer, 2013. – 640 p. (in English)
6. *Initiation and propagation of mining-induced fractures during underground coal mining in a loess-gully region* / W. Bai et al. // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Article 8867 (in English)
7. Cao R., Cao P., Lin H. *Support technology for deep roadways under high-stress conditions and its application* // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2016. – Vol. 26. – No. 5. – P. 787–793 (in English)
8. Cui Z., Sheng Q., Leng X. *Effect of a controlling geological fault on the seismic stability of an underground cavern* // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2018. – Vol. 77. – P. 265–282 (in English)
9. *Geomekhanicheskie usloviia provedeniia pereseikaiushchikh gornykh vyrabotok [Geomechanical Conditions for Driving Intersecting Mine Workings]* G. D. Tanekeeva et al. *Ugol'* [Coal]. – 2023. – No. 2. – P. 31–33 (in Russian)
10. *Povyshenie effektivnosti buril'nykh rabot pri ankernom kreplenii gornykh vyrabotok ugol'nykh shakht [Improving drilling efficiency during rock-bolt support installation in coal-mine roadways]* A. B. Efremkov et al. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela [Mining Equipment and Electromechanics]*. – 2022. – No. 4 (19). – P. 62–72 (in Russian)

Сведения об авторах:

Замалиев Н. М., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliyev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Долгонос В. Н., доктор технических наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), vnd070765@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Шмидт-Федотова И. М., доктор Ph.D, преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), irinka.shmidt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9984-4761>

Шулепин А. Н., студент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), shulepin_an@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-0750-564X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Замалиев Н. М., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Долгонос В. Н., техника ғылымдарының докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Шмидт-Федотова И. М., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Шулепин А. Н., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының студенті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zamaliyev N. M., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining Engineering, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Dolgonosov V. N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Schmidt-Fedotova I. M., Ph.D, Lecturer at the Department of Mining Engineering, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Shulepin A. N., Student of the Department of Mining Engineering, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)



2026

21-22
октября

КЦДС «Атакент»
Алматы, Казахстан



plastex.kz

Казахстанская международная выставка

ПЛАСТМАСС И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



По вопросам участия обращаться



+7 705 888 8819



Gaukhar.Bekmanova@iteca.events

Код МРНТИ 52.35.29

V. F. Demin¹, R. A. Mussin¹, *E. D. Reshetnyakov², D. R. Akhmatnurov¹¹NJSC Abylgas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan),²Institute for Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources LLP (IPKON) (Karaganda, Kazakhstan)

COMPREHENSIVE GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF UNDERGROUND MINE ROADWAY STABILITY USING DIPS AND UNWEDGE SOFTWARE COMPLEXES

Abstract. Increasing mining depths in the Karaganda Basin require reliable assessment of roadway stability. This study presents a geomechanical evaluation of the stress-strain state around the 4th Eastern Conveyor Entry of seam K₇ at Kostenko Mine using the Rocscience suite. Joint mapping in Dips identified three dominant discontinuity sets with dip angles of 40–80° and strike azimuths of 40–300°. The resulting wedge geometries were analysed in Unwedge. Unsupported roof wedges showed zero factor of safety and masses up to 49 t. Steel arch support increased roof FS to 2.3, but the critical J1/J2 wedge still required reinforcement. A combined support system with 2.4 m steel-polymer bolts and 3.2 m cable bolts on a 1.5 × 1.5 m grid ensured FS ≥ 2.0 for all failure surfaces. Dips – Unwedge workflow proved effective for identifying hazardous zones and optimising support in deep coal roadways.

Key words: geomechanics, rock mass stability, discontinuity analysis, Dips, Unwedge, anchor bolt, Karaganda coal basin, under-ground roadway.

Dips және Unwedge бағдарламалық кешендерін қолдана отырып, жерасты тау-кен қазбасының тұрақтылығын кешенді геомеханикалық бағалау

Андатпа. Қарағанды бассейнінде кен өндіру тереңдігінің артуы жерасты қазбаларының тұрақтылығын бағалауды қажет етеді. Зерттеуде Rocscience кешені арқылы Костенко шахтасындағы К₇ кабатының 4-Шығыс конвейерлік штретінің маңындағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйі бағаланды. Dips бағдарламасында құлау бұрыштары 40–80° және созылым азимуттары 40–300° болатын үш негізгі жарықшақтар жүйесі анықталды. Unwedge талдауы бекітілмеген төбе сына блоктарының қауіпсіздік коэффициенті нөлге тең, массасы 49 т-ға дейін жететінін көрсетті. Металл аркалы бекітпе FS мәнін 2,3-ке дейін арттырғанымен, J1/J2 сыны блогы қосымша анкерлеуді қажет етті. 2,4 м болат-полимерлі және 3,2 м арқанды анкерлерден тұратын, 1,5 × 1,5 м тор бойынша орнатылған бекіту жүйесі барлық бұзылу беттері үшін FS ≥ 2,0 қамтамасыз етті. Dips – Unwedge әдісі қауіпті аймақтарды анықтау және бекітуді оңтайландыру үшін тиімді болды.

Түйінді сөздер: геомеханика, тау жыныстары массивінің тұрақтылығы, жарықшақтарды талдау, Dips, Unwedge, анкерлік бекітпе, Қарағанды көмір бассейні, жерасты тау-кен қазбасы.

Комплексная геомеханическая оценка устойчивости подземной горной выработки с использованием программных комплексов Dips и Unwedge

Аннотация. Увеличение глубины горных работ в Карагандинском бассейне требует надежной оценки устойчивости выработок. В исследовании с применением Rocscience выполнена геомеханическая оценка напряженно-деформированного состояния массива вокруг 4-го Восточного конвейерного штрета пласта К₇, шахты им. Костенко. В Dips выделены три основные системы трещин с углами падения 40–80° и азимутами простирания 40–300°. Геометрия клиновидных блоков проанализирована в Unwedge. Для незакрепленных кровельных клиньев коэффициент запаса устойчивости равен нулю, масса достигает 49 т. Арочная крепь повышает FS кровли до 2,3, однако критический клин J1/J2 требует анкерного усиления. Комбинированная схема из сталепolyмерных анкеров 2,4 м и канатных анкеров 3,2 м по сетке 1,5 × 1,5 м обеспечивает FS ≥ 2,0. Алгоритм Dips – Unwedge эффективен для выявления опасных зон и оптимизации крепления.

Ключевые слова: геомеханика, устойчивость массива горных пород, анализ структурных нарушений, Dips, Unwedge, анкерное крепление, Карагандинский угольный бассейн, подземная горная выработка.

Introduction

Underground coal mining at depths exceeding 300 m generates high stress concentrations that fundamentally compromise the integrity of mine roadways. In the Karaganda Coal Basin (Kazakhstan) – one of Central Asia's most productive coal regions – current extraction fronts at Kostenko Mine operate at depths of 500–700 m, where horizontal stresses may exceed vertical overburden pressure by a factor of 1.5–2.0 [1–4]. Under these conditions, roadway stability is governed not only by bulk rock-mass strength but also by the geometry and orientation of pre-existing structural discontinuities.

Classical analytical approaches, predicated on homogeneous isotropic behaviour, are inadequate for fractured sedimentary sequences [5, 6]. Kinematic failure modes – roof wedge fall, rib spalling, and floor heave – are controlled by the relative geometry of joint sets, roadway axis, and in-situ stress field. This has driven the adoption of dedicated software tools for rapid three-dimensional characterisation of discontinuity networks [7–10].

The Rocscience suite offers two complementary modules: (i) Dips – for stereographic projection, clustering, and kinematic analysis of structural data; and (ii) Unwedge – for three-dimensional wedge stability computation and support design optimisation. Despite their proven individual utility,

applications that systematically couple the two programs within a single site-specific workflow remain sparsely reported for Carboniferous-age interbedded coal measures.

This study presents a fully integrated Dips – Unwedge assessment applied to the 4th Eastern Conveyor Entry of coal seam K₇ at Kostenko Mine. The objectives are: (1) to characterise dominant joint systems from field mapping; (2) to identify kinematically critical failure mechanisms; (3) to quantify wedge geometries and associated safety factors under both unsupported and supported conditions; and (4) to derive an optimised bolt support scheme satisfying prescribed stability criteria. This study presents a comprehensive analysis of slopes and the absence of wedges, applied to the 4th eastern conveyor entry of the K₇ coal seam at the Kostenko mine. The objectives of the study are: (1) to characterize the predominant fracture systems based on field maps; (2) to identify kinematically critical failure mechanisms; (3) to quantitatively assess the geometry of the wedges and the associated safety factors, both in the absence and presence of support; and (4) to develop an optimized bolting scheme that meets the specified stability criteria.

Materials and methods

Study site and geological setting. The investigation focuses on the 4th Eastern Conveyor Entry, driven along coal seam

3K₇ at Kostenko Mine, Karaganda Basin. The entry has an arched cross-section of 14.4 m² (net), width 5.3 m, and height 3.55 m, supported by steel arch sets supplemented by intermediate resin-grouted bolts. Following convergence, the residual section reduces to 11.62 m² – a cross-sectional loss of 18.9%.

The stratigraphic sequence at the working horizon comprises alternating sandstone, siltstone, mudstone, and occasional marl bands. Physical-mechanical parameters, determined from laboratory testing of drill-core specimens, are summarised in Table 1 [11, 12].

Physical-mechanical properties of the rock mass at Kostenko Mine

Table 1

Parameter	Sand-stone	Silt-stone	Mud-stone	Coal	Marl
Young's modulus, MPa	20	23	11.5	3.7	33.1
Poisson's ratio	0.27	0.39	0.38	0.30	0.22
Uniaxial compressive strength, MPa	75	30	25	9	543
Tensile strength, MPa	16	13	6	1.8	9.7
Unit weight, MN/m ³	2.61	2.37	2.31	1.32	2.70
Cohesion, MPa	18.5	13.0	7.5	3.2	14.0
Internal friction angle, °	50	39	39	25	27

The roof strata are classified as competent sandstone (UCS = 75 MPa, E = 20 GPa) immediately above the coal seam; however, the presence of clayey partings and carbonaceous mudstone bands (UCS = 25 MPa) creates a mechanically weak composite roof susceptible to delamination. Mine-scale structural mapping indicates three dominant discontinuity sets of predominantly tectonic origin.

Structural discontinuity mapping and Dips analysis. Field discontinuity surveys were conducted along the conveyor entry using standard scan-line methodology following ISRM suggested methods. Orientation measurements (dip direction / dip angle) were collected for each visible discontinuity plane. Data acquisition targeted the four principal surfaces of the entry: roof, right rib, left rib, and floor.

Processing was performed in Dips (Rocscience Inc., Toronto). Equal-area lower-hemisphere stereographic projection (Schmidt net) was used for contouring pole concentrations. Fisher K-values and confidence cones were computed for each cluster. Three statistically significant joint sets were identified:

Set J1: dip 60°, strike azimuth 200° (sub-perpendicular to roadway axis);

Set J2: dip 40°, strike azimuth 40° (oblique, low-angle);
Set J3: dip 80°, strike azimuth 300° (near-vertical, sub-parallel to roadway axis).

Kinematic feasibility of planar sliding, wedge sliding, and direct toppling was evaluated for each joint-set combination against the entry orientation (tunnel azimuth 10°, plunge 0°) using the kinematic analysis framework of Hudson and Harrison, implemented within Dips via the tunnel axis plugin.

Figure 1 illustrates the fracture mapping results on the four entry surfaces, with individual fracture traces and measured lengths (0.5–3.5 m) subsequently projected to construct the 3-D discontinuity model.

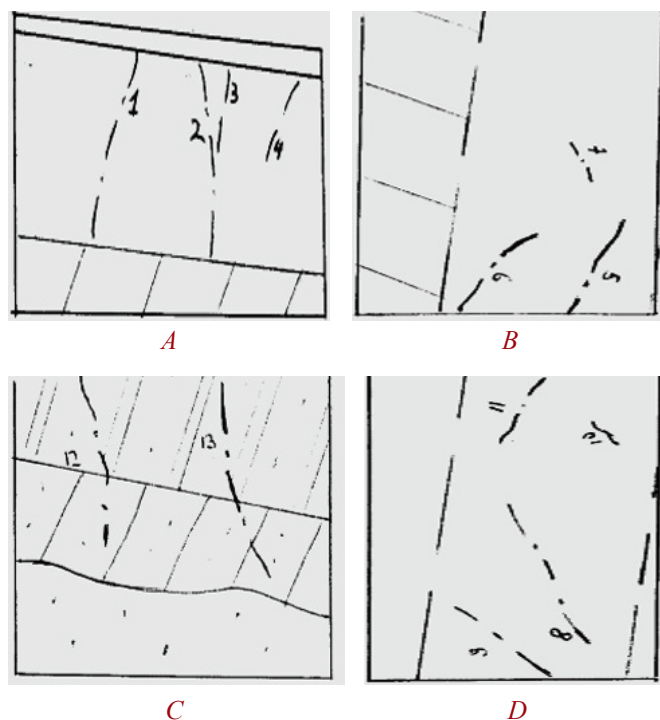


Figure 1. Fracture system mapping on the conveyor entry of seam 3K₇, Kostenko Mine: (a) roof, (b) right rib, (c) left rib, (d) floor.

Сурет 1. Костенко шахтасындағы 3К₇ қабатының конвейерлік қазбасында жарықшақтар жүйесін карталау: (а) төбе, (б) оң жақ бүйір қабырға, (с) сол жақ бүйір қабырға, (д) табан.

Рис. 1. Картирование системы трещин в конвейерном штреке пласта 3К₇ шахты им. Костенко: (а) кровля, (б) правый борт, (с) левый борт, (д) почва.

Figure 2 presents the stereographic projection from Dips, with joint-set poles, mean orientations, and Fisher confidence cones. The zonal fracture intensity map (Fig. 2c–d) depicts 3-D discontinuity density along the entry, with red and orange zones denoting critically fractured intervals requiring priority reinforcement.

Wedge stability analysis in Unwedge. Orientation data exported from Dips were imported into Unwedge (Rocscience). The roadway cross-section was defined as a rectangular-arched profile (width 5.3 m, height 3.55 m). A gravitational stress field was assumed ($K_0 = 1.0$), which is standard practice for kinematic wedge analysis where block

failure is driven primarily by self-weight rather than deviatoric stress [1, 2].

The factor of safety for unsupported wedges is computed in Unwedge as [10]:

$$FS = (c \cdot A + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi) / (W \cdot \sin \alpha),$$

where c is joint cohesion;

A is sliding area;

W is wedge weight;

α is sliding angle and ϕ is friction angle.

Roof input parameters for seam K₇ strata: $E = 68,000$ MPa; $c = 2.56$ MPa; $\phi = 59^\circ$; $UCS_a = 175$ MPa; $UCS_m = 49.3$ MPa; tensile strength = 0.44 MPa; unit weight = 0.027 MN/m³.

The tunnel azimuth was systematically rotated through 360° to identify the orientations generating maximum and minimum wedge volumes. Two critical drive directions were identified: 110° (maximum blocks) and 46° (minimum blocks).

Bolt support design. Support optimisation was conducted within Un-wedge by sequentially adding bolt patterns until all wedge FS values exceeded the target of 2.0, consistent with the Kazakhstan normative requirement for permanent mine road-ways [7]. Two support tiers were evaluated.

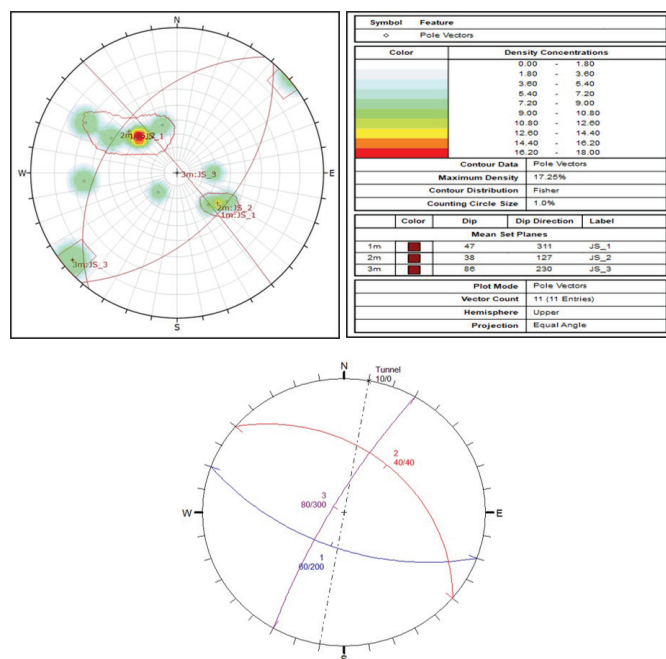


Figure 2. Stereographic analysis of rock mass discontinuity systems and tunnel orientation.

Сурет 2. Тау жыныстары массивіндегі жарықшақтар жүйелері мен тау-кен қазбасының бағытын стереографиялық талдау.

Рис. 2. Стереографический анализ систем трещиноватости массива горных пород и ориентации горной выработки.

Tier 1 – Steel-polymer resin-grouted bolts: Ø22 mm rebar, $L = 2.4$ m, grid 1.0×1.0 m; nominal bolt capacity 250–300 kN; minimum borehole diameter 28 mm; three resin cartridges per bolt.

Tier 2 – Cable bolts: $L = 3.2$ m, grid 1.5×1.5 m; nominal capacity 350–370 kN per bolt.

The capacity of each support element is entered as an equivalent force vector opposing wedge displacement; FS is recomputed as the ratio of total resisting forces to the driving force component.

Results and Discussion

Kinematic failure modes. Kinematic analysis confirmed that three independent failure mechanisms are feasible: (i) wedge sliding controlled by intersections J1∩J2, J1∩J3, and J2∩J3; (ii) direct top-pling of J3 slabs; and (iii) flexural top-pling of J1 plates in the roof. Planar sliding along a single set was found kinematically inadmissible for the prevailing entry orientation (azimuth 10°).

The most critical intersection – J1∩J2 – generates a near-symmetric roof wedge with apex height ~1.0 m above the arch crown and estimated mass of 40–49 t. The J2∩J3 intersection creates an asymmetric floor wedge (depth 1.3 m, mass ~45 t) contributing to floor heave under moisture-softening conditions.

Wedge geometry and factor of safety. Table 2 reports FS and mass of principal wedge bodies in the fully unsupported state (azimuth 110°). The roof wedge [8] exhibits FS = 0.0, confirming the absolute necessity of artificial support. The rib wedges display FS values of 10.6 and 7.1 – adequate under current conditions but vulnerable to stress relaxation during seam extraction.

Table 2

Wedge FS and weight-unsupported roadway (azimuth 110°)

Кесте 2

Бекітілмеген тау-кен қазбасындағы сыналардың орнықтылық қорының коэффициенті мен массасы (азимуты 110°)

Таблица 2

Коэффициент запаса устойчивости и масса клиньев в незакрепленной горной выработке (азимут 110°)

Characteristic	Floor	Left rib	Right rib	Roof
FS (unsupported)	Stable	7.1	10.6	0.0
Rock mass weight, t	89.8	49.3	59.3	48.9

Although the existing steel arch support provides passive confinement and partially stabilises shallow loosening zones, it cannot intercept the J1∩J2 failure plane (apex height ~2.1 m), which extends beyond the structural reach of the arch set. Active anchor bolt reinforcement is therefore essential to achieve the required $FS \geq 2.0$ for that geometry.

Rotation of the tunnel azimuth to 46° reduces the critical roof wedge mass from 48.9 t to 1.45 t – a 97% reduction (Table 3). This directional sensitivity strongly suggests that planning future entries at azimuths 40–60° would substantially simplify support requirements, a design intervention with direct operational and economic implications.

Table 3
Wedge block parameters for azimuths 110° and 46°

Кесте 3

**110° және 46° азимуттар кезіндегі сыналы
блоктардың параметрлері**

Таблица 3

Параметры клиновидных блоков при азимутах 110° и 46°

Azimuth 110° – maximum blocks	Azimuth 46° – minimum blocks
Floor wedge [1]: FS – Stable; Weight: 89.8 t	Floor wedge [1]: FS – Stable; Weight: 3.6 t
Lower Left wedge [4]: FS – 6.1; Weight: 39.3 t	Upper Left wedge [4]: FS – 1380.2; Weight: 0.0 t
Upper Right wedge [5]: FS – 7.06; Weight: 59.4 t	Upper Right wedge [7]: FS – 14.29; Weight: 0.05 t
Roof wedge [8]: FS – 0.0 Weight: 48.9 t	Roof wedge [8]: FS – 0.0 Weight: 1.45 t

Figures 3–5 illustrate the weakened zone cross-sections and Unwedge 3-D model output for both critical azimuths.

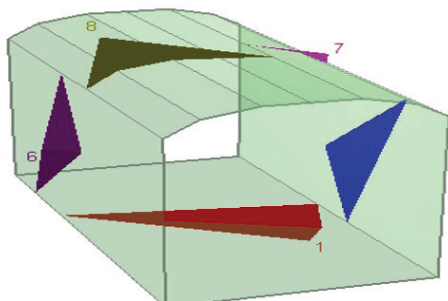


Figure 3. Spatial model of potentially unstable wedge-shaped blocks around an underground mine opening: 1 – wedge-shaped block in the lower part of the excavation, near the floor/lower sidewall, 6 – wedge-shaped block in the left sidewall of the excavation, 7 – wedge-shaped block in the upper right part, near the roof zone, 8 – wedge-shaped block in the roof of the excavation.

Сурет 3. Жерасты тау-кен қазбасы маңындағы ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блоктардың кеңістіктік моделі: 1 – қазбаның төменгі бөлігіндегі, табан/төменгі бүйір аймағындағы сына тәрізді блок, 6 – қазбаның сол жақ бүйіріндегі сына тәрізді блок, 7 – қазбаның жоғарғы оң жақ бөлігіндегі, төбе аймағындағы сына тәрізді блок, 8 – қазбаның төбесіндегі сына тәрізді блок.

Рис. 3. Пространственная модель потенциально неустойчивых клиновидных блоков вокруг подземной горной выработки: 1 – клиновидный блок в нижней части выработки, в зоне почвы/нижнего борта, 6 – клиновидный блок в левом борту выработки, 7 – клиновидный блок в верхней правой части, в зоне кровли, 8 – клиновидный блок в кровле выработки.

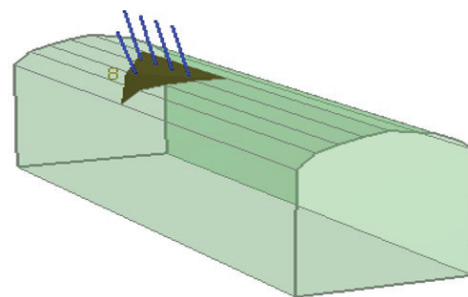


Figure 4. Support scheme for wedge-shaped block No. 8 in the roof of an underground mine opening using rock bolts: 8 – potentially unstable wedge-shaped block in the excavation roof supported by rock bolts.

Сурет 4. Жерасты тау-кен қазбасының төбесіндегі № 8 сына тәрізді блоқты анкерлік бекітпемен бекіту сұлбасы: 8 – қазба төбесіндегі анкерлік бекітпе жүйесімен бекітілетін ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блок.

Рис. 4. Схема закрепления клиновидного блока № 8 в кровле подземной горной выработки анкерной крепью: 8 – потенциально неустойчивый клиновидный блок в кровле выработки, закрепляемый системой анкеров.

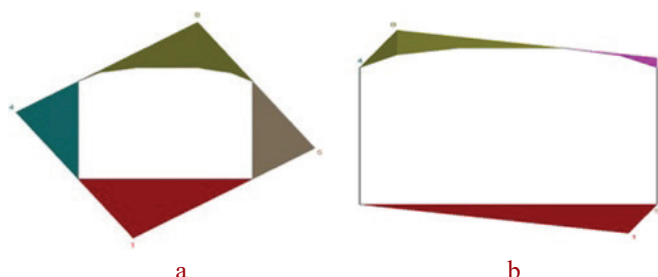


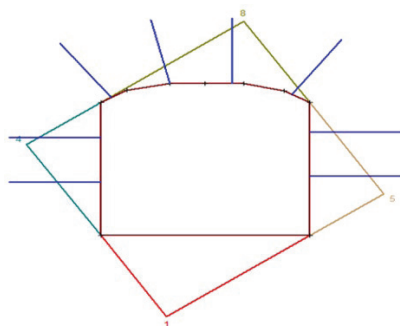
Figure 5. Maximum (a, azimuth 110°) and minimum (b, azimuth 46°) block geometries as a function of tunnel orientation.

Сурет 5. Тау-кен қазбасының бағытына байланысты блоктардың максималды (а, азимуты 110°) және минималды (б, азимуты 46°) геометриясы.

Рис. 5. Геометрия максимального (а, азимут 110°) и минимального (б, азимут 46°) блоков в зависимости от ориентации горной выработки.

Optimised bolt support design. Single-tier steel-polymer bolts ($L = 2.4$ m) proved sufficient to stabilise the J1∩J3 wedge (apex height < 2.0 m), raising FS from 0 to 2.07. For the dominant J1∩J2 wedge (apex height ~ 2.1 m), the bolt falls short of the failure plane and cable bolt supplementation is required.

The adopted two-tier scheme performs as follows. Tier – 1 steel-polymer bolts (2.4 m, 1.0×1.0 m, ~ 300 kN/bolt) address shallower instabilities and raise the smaller wedge FS to ≥ 2.0 . Tier – 2 cable bolts (3.2 m, 1.5×1.5 m, ~ 360 kN/bolt), installed within 2 m of the working face, intercept the J1∩J2 failure plane and raise the principal roof wedge FS to 1.8–2.0.



Floor wedge (1) FS: Stable Weight: 89.8 tonnes
Left wedge (4) FS: 12.823 Weight: 59.3 tonnes
Right wedge (5) FS: 28.4 Weight: 59.3 tonnes
Roof wedge (8) FS: 11.2 Weight: 48.8 tonnes

Figure 6. Cross-sectional scheme of potentially unstable wedge-shaped blocks around the mine roadway:

1 – potentially unstable wedge-shaped block in the floor zone of the mine roadway, 4 – potentially unstable wedge-shaped block in the left sidewall of the mine roadway, 5 – potentially unstable wedge-shaped block in the right sidewall of the mine roadway, 8 – potentially unstable wedge-shaped block in the roof zone of the mine roadway.

Сурет 6. Тау-кен қазбасы қимасы маңындағы

ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блоктардың сұлбасы:

1 – тау-кен қазбасының табан аймағындағы ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блок, 4 – тау-кен қазбасының сол жақ бүйіріндегі ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блок, 5 – тау-кен қазбасының оң жақ бүйіріндегі ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блок, 8 – тау-кен қазбасының төбе аймағындағы ықтимал тұрақсыз сына тәрізді блок.

Рис. 6. Поперечная схема потенциально неустойчивых клиновидных блоков вокруг горной выработки:

1 – потенциально неустойчивый клиновидный блок в зоне почвы горной выработки, 4 – потенциально неустойчивый клиновидный блок в левом борту горной выработки, 5 – потенциально неустойчивый клиновидный блок в правом борту горной выработки, 8 – потенциально неустойчивый клиновидный блок в зоне кровли горной выработки.

Combined, the scheme satisfies $FS \geq 2.0$ across all identified failure surfaces.

If the cable bolt capacity per bolt equals 40 t, then for the critical 44-t wedge: $FS = (2 \times 40) / 44 = 1.8 \geq \text{target}$, confirming structural adequacy of two cable bolts for that zone.

Conclusions

A rigorous two-stage geomechanical investigation of the 4th Eastern Conveyor Entry at Kostenko Mine has been presented. The principal conclusions are:

1. Three dominant tectonic joint sets (J1: $60^\circ/200^\circ$; J2: $40^\circ/40^\circ$; J3: $80^\circ/300^\circ$) govern wedge-type failures. Kinematic analysis identifies wedge sliding and toppling as the primary failure modes.

2. The unsupported roof wedge (J1∩J2, mass ~49 t) exhibits $FS = 0.0$, representing an acute safety hazard that cannot be mitigated by arch-set framing alone, as the failure plane extends beyond the structural reach of the arch.

3. Reorienting future entries to azimuths 40° – 60° reduces the critical roof wedge mass from ~49 t to ~1.5 t – a 97% reduction – with substantial safety and economic implications.

4. A two-tier bolt scheme – steel-polymer bolts ($\varnothing 22$ mm, 2.4 m, 1.0×1.0 m) combined with cable bolts (3.2 m, 1.5×1.5 m) – restores $FS \geq 2.0$ across all failure surfaces, satisfying Kazakhstan normative requirements.

5. The integrated Dips – Unwedge workflow constitutes a reliable and reproducible framework for structurally controlled stability assessment, transferable to analogous coal measure sequences throughout the Karaganda Basin.

Acknowledgments

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under Programme-Targeted Financing, grant IRN BR28712407.

REFERENCES

1. *Primenenie metodov seismotomografii dlia resheniia razlichnykh zadach v gorno-geologicheskoy napravlenii* [Application of Seismic Tomography Methods for Solving Various Problems in the Mining and Geological Field] A. Sadchikov et al. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]. – 2025. – No. 1 (92). – P. 50–54 (in Russian)
2. *Rukovodstvo po geodinamicheskomy raionirovaniu shakhtnykh polei* [Guidelines for Geodynamic Zoning of Mine Fields]. – Saint Petersburg, 2012. – 116 p. (in Russian)
3. Panin, V. I., Kozyrev, A. A. *Upravlenie geodinamicheskimi riskami pri vedenii gornykh rabot v geodinamicheski aktivnykh raionakh* [Management of Geodynamic Risks during Mining Operations in Geodynamically Active Regions] // In: *Materialy Vserossiiskoi konferentsii* [Proceedings of the All-Russian Conference]. – Apatity, 2007. – P. 1–8 (in Russian)
4. *Fault-Based Geological Lineaments Extraction Using Remote Sensing and GIS – A Review* / M. Hashim et al. // *Geosciences*. – 2021. – Vol. 11. – Article 183 (in English)
5. *Comparison of Multi-Resolution Optical Landsat-8, Sentinel-2 and Radar Sentinel-1 Data for Automatic Lineament Extraction: A Case Study of Alichur Area, SE Pamir* / J. Aminov et al. // *Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 11. – Article 778 (in English)
6. Zhang P. *Prediction model for performance evaluation of tunnel excavation in blocky rock masses* // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2017. – Vol. 143. – No. 12. – Article 04017089 (in English)
7. Le Quang Phuc. *Cause and solution to roadway deformation in Vietnam underground coal mines* // *Inzhynieria Mineralna*. – 2021. – Vol. 1. – No. 2. – P. 381–390 (in English)

8. *Mechanism and prevention of coal bursts in gob-side roadway floor under thick and hard roof in the deep mining area of Ordos / J. Zhou et al. // International Journal of Coal Science & Technology. – 2024. – Vol. 11. – Article 73 (in English)*
9. *Kang H. Mechanical behaviors of coal measures and ground control in China's deep underground coal mining: a review // Journal of China Coal Society. – 2023. – Vol. 48. – No. 1. – P. 1–24 (in English)*
10. *Mechanical response characteristics and failure evolution law of anchorage body under different confining pressure gradient and anchorage length / K. Zhou et al. // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. – 2025. – Vol. 11. – Article 109 (in English)*
11. *Lines A. A predictive model for extent of failure in sedimentary rocks around underground excavations // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2025. – Vol. 59. – No. 2. – P. 1735–1759 (in English)*
12. *Dynamic failure characteristics of surrounding rocks under transient unloading excavation conditions / Y. Xu et al. // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – Article 3458 (in English)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Тау-кен-геологиялық бағыттағы әртүрлі міндеттерді шешу үшін сейсмотомография әдістерін қолдану / А. Садчиков [және т. б.] // Тарас Шевченко атындағы Киев ұлттық университетінің хабаршысы. Геология. – 2025. – № 1 (92). – Б. 50–54 (орыс тілінде)*
2. *Шахта алаңдарын геодинамикалық аудандастыру жөніндегі нұсқаулық. – Санкт-Петербург, 2012. – 116 б. (орыс тілінде)*
3. *Панин В. И., Козырев А. А. Геодинамикалық белсенді аудандарда тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде геодинамикалық тәуекелдерді басқару // Бүкілресейлік конференция материалдары. – Апатиты, 2007. – Б. 1–8 (орыс тілінде)*
4. *Қашықтан зондтау және ГАЗ әдістерін қолдану арқылы жарықтарға негізделген геологиялық линеаменттерді анықтау: шолу / M. Hashim [және т. б.] // Geosciences. – 2021. – T. 11. – 183 (ағылшын тілінде)*
5. *Әртүрлі кеңістіктік айырымдылықтағы Landsat-8, Sentinel-2 оптикалық деректері мен Sentinel-1 радиолокациялық деректерін автоматты түрде линеаменттерді анықтау үшін салыстыру: Оңтүстік-Шығыс Памирдегі Аличур ауданы мысалында / J. Aminov [және т. б.] // Remote Sensing. – 2019. – T. 11. – 778 (ағылшын тілінде)*
6. *Zhang P. Блокты жыныс массивтерінде тоннель қазу тиімділігін бағалауға арналған болжау моделі // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2017. – T. 143. – № 12. – 04017089 (ағылшын тілінде)*
7. *Le Quang Phuc. Вьетнамның жерасты көмір шахталарындағы қазбалардың деформациялану себептері және оларды жою жолдары // Inżynieria Mineralna. – 2021. – T. 1. – № 2. – Б. 381–390 (ағылшын тілінде)*
8. *Ордостың терең игеру аймағындағы қалың әрі қатты жабыны бар жағдайда қазба жаны жолының табанындағы көмір соққыларының механизмі және олардың алдын алу / J. Zhou [және т. б.] // International Journal of Coal Science & Technology. – 2024. – T. 11. – 73 (ағылшын тілінде)*
9. *Kang H. Қытайдың терең жерасты көмір өндіру жағдайындағы көмірқабатты жыныстардың механикалық қасиеттері және тау-кен қысымын басқару: шолу // Journal of China Coal Society. – 2023. – T. 48. – № 1. – Б. 1–24 (ағылшын тілінде)*
10. *Әртүрлі жан-жақты қысым градиенті мен анкерлеу ұзындығы жағдайында анкерленген дененің механикалық жауап сипаттамалары және бұзылу эволюциясының заңдылықтары / K. Zhou [және т. б.] // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. – 2025. – T. 11. – 109 (ағылшын тілінде)*
11. *Жерасты қазбалары маңындағы шөгінді жыныстардағы бұзылу ауқымын болжау моделі / A. Lines [және т. б.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2025. – T. 59. – № 2. – Б. 1735–1759 (ағылшын тілінде)*
12. *Қазу кезіндегі өтпелі жүктемеден босау жағдайында қоршаған жыныстардың динамикалық бұзылу сипаттамалары / Y. Xu [et al.] // Scientific Reports. – 2023. – T. 13. – 3458 (ағылшын тілінде)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Использование методов сейсмотомографии для решения различных задач горно-геологического направления / А. Садчиков [и др.] // Вестник Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Геология. – 2025. – № 1 (92). – С. 50–54 (на русском языке)*
2. *Руководство по геодинамическому районированию шахтных полей. – Санкт-Петербург, 2012. – 116 с. (на русском языке)*

3. Панин В. И., Козырев А. А. Управление геодинамическими рисками при ведении горных работ в геодинамически активных районах // *Материалы Всероссийской конференции*. – Апатиты, 2007. – С. 1–8 (на русском языке)
4. Использование методов дистанционного зондирования и ГИС для выявления геологических линеаментов на основе разломов: обзор / М. Hashim [и др.] // *Geosciences*. – 2021. – Т. 11. – Ст. 183 (на русском языке)
5. Сравнение оптических данных Landsat-8, Sentinel-2 и радиолокационных данных Sentinel-1 различного пространственного разрешения для автоматического выявления линеаментов: на примере Аличурского района Юго-Восточного Памира / J. Aminov [и др.] // *Remote Sensing*. – 2019. – Т. 11. – Ст. 778 (на русском языке)
6. Zhang P. Прогнозная модель оценки эффективности проходки тоннелей в блочных скальных массивах // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2017. – Т. 143. – № 12. – Ст. 04017089 (на английском языке)
7. Le Quang Phuc. Причины и способы решения проблемы деформации горных выработок на подземных угольных шахтах Вьетнама // *Inżynieria Mineralna*. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 381–390 (на английском языке)
8. Механизм и предотвращение выбросов угля в почве выработки, расположенной у выработанного пространства, при мощной и устойчивой кровле в условиях глубоких горных работ района Ордос / J. Zhou [и др.] // *International Journal of Coal Science & Technology*. – 2024. – Т. 11. – Ст. 73 (на английском языке)
9. Kang H. Механические свойства угленосных толщ и управление горным массивом при глубокой подземной добыче угля в Кумае: обзор // *Journal of China Coal Society*. – 2023. – Т. 48. – № 1. – С. 1–24 (на английском языке)
10. Характеристики механического поведения и закономерности развития разрушения закрепленного массива при различных градиентах всестороннего давления и длине анкеровки / K. Zhou [и др.] // *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. – 2025. – Т. 11. – Ст. 109 (на английском языке)
11. Прогностическая модель определения зоны разрушения осадочных пород вокруг подземных горных выработок / A. Lines Zhou [и др.] // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2026. – Т. 59. – № 2. – С. 1735–1759 (на английском языке)
12. *Dynamic failure characteristics of surrounding rocks under transient unloading excavation conditions* / Y. Xu [и др.] // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – Ст. 3458 (на английском языке)

Information about the authors:

Demin V., Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department «Development of mineral Deposits» of the NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), vladfdemin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

Mussin R., Ph.D, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), R.A.Mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Reshetnyakov E., Researcher at the Institute for Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources LLP (IPKON) (Karaganda, Kazakhstan), vip.red2001@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-1128-2056>

Akhmatnurov D., Ph.D, Head of the Testing Laboratory «Methane Energy in the Mining and Metallurgical Complex» of the NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), d_akhmatnurov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

Авторлар туралы мәліметтер:

Демин В. Ф., техника ғылымдарының докторы, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өңдеу» кафедрасының профессор (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мусин Р. А., Ph.D, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Решетняков Э. Д., «Жер қойнауын кешенді игеру мәселелері институты» ЖШС-нің (ИПКОН) зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматнуров Д. Р., Ph.D, «Әбылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Тау-кен металлургия кешеніндегі метан энергиясы» сынақ зертханасының меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Демин В. Ф., доктор техн. наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Мусин Р. А., Ph.D доктор, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Решетняков Э. Д., исследователь, ТОО «Институт проблем комплексного освоения недр» (ИПКОН) (г. Караганда, Казахстан)

Ахматнуров Д. Р., Ph.D доктор, руководитель испытательной лаборатории «Метановая энергетика в горно-металлургическом комплексе», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 52.35.29

Р. К. Байғали¹, *В. Ф. Ярцева¹, Т. Т. Бондаренко², А. А. Турсынбеков³¹НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «АлГеоРитм» (г. Караганда, Казахстан),³НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОТВАЛА «ОЗЕРНЫЙ-2» РАЗРЕЗА «СЕВЕРНЫЙ» ТОО «БОГАТЫРЬ КОМИР»

Аннотация. Целью выполненных исследований является оценка устойчивости проектируемого внешнего автомобильного отвала «Озерный-2» разреза «Северный» ТОО «Богатырь Комир», разработка рекомендаций и предложений по обеспечению его устойчивости. Особенность задачи заключается в наличии на участке, отведенном для отсыпки проектируемого отвала, мощного слабого техногенного основания. Выполнен комплекс инженерно-геологических, инженерно-геодезических и инженерно-гидрогеологических изысканий. По материалам, предоставленным маркшейдерской и геологической службами предприятия, проведен анализ существующего состояния верхних горизонтов стационарного борта разреза «Северный» в районе проектируемого внешнего отвала. Выполнены расчеты устойчивости проектных контуров и определение конструктивных параметров отвала, а также ширины бермы безопасности отвала от верхней бровки стационарного борта.

Ключевые слова: отвал, ярус, стационарный борт, берма безопасности, насыпной грунт, инженерно-геологический элемент, масштабный фактор.

«Богатырь Көмір» ЖШС «Солтүстік» кен қимасының «Озерный-2» жобалық үйіндісінің тұрақтылық жағдайын бағалау

Аннотация. Зерттеудің максаты «Богатырь Көмір» ЖШС «Солтүстік» кенішінің «Озерный-2» жобаланатын сыртқы автомобиль үйіндісінің орнықтылығын бағалау және оны қамтамасыз етуге бағытталған ұсынымдар әзірлеу. Зерттеу ерекшелігі үйіндіні орналастыруға бөлінген аумақта қуатты әлсіз техногендік негіздің болуымен сипатталады. Осыған байланысты инженерлік-геологиялық, инженерлік-геодезиялық және инженерлік-гидрогеологиялық іздестірулер кешені жүргізілді. Кәсіпорынның маркшейдерлік және геологиялық қызметтері ұсынған материалдар негізінде жобаланатын сыртқы үйінді орналасатын аймақтағы «Северный» разрезі стационарлық бортының жоғарғы горизонттарының қазіргі жай-күйіне талдау жасалды. Нәтижесінде үйіндінің жобалық контурларының орнықтылығы бағаланып, оның конструктивтік параметрлері мен стационарлық борттың жоғарғы жиегінен қауіпсіздік бермасының ең аз ені анықталды.

Үйінді сөздер: үйінді, ярус, стационарлық борт, қауіпсіздік бермасы, үйінділік топырақ, инженерлік-геологиялық элемент, масштабтық фактор.

Estimate of «Ozerny-2» designed dump stability on «Bogatyr Komir» LLP of the «Severny» open pit

Abstract. The study aims to assess the stability of the designed external haulage dump «Ozerny-2» at the «Severny» open pit of «Bogatyr Komir» LLP and to develop recommendations for ensuring its stability under weak technogenic foundation conditions. Comprehensive engineering-geological, engineering-geodetic, and engineering-hydrogeological investigations were carried out. Based on data provided by the mine surveying and geological services of the enterprise, the current condition of the upper benches of the permanent pit wall of the Severny open pit in the area designated for the planned external waste dump was analyzed. Stability analyses were performed to determine the design parameters of the dump and the minimum required safety berm width between the dump and the upper crest of the stationary pit wall.

Key words: dump, bench, stationary pit wall, safety berm, fill soil, engineering-geological element, scale factor.

Введение

Проблема складирования больших объемов вскрышных пород является весьма актуальной для открытых горных работ в связи с ограниченностью территорий горных отвалов. Под внешний автомобильный отвал «Озерный-2» был выделен участок на Северном борту разреза «Северный» ТОО «Богатырь комир», на котором располагалась свалка бытового мусора (рис. 1).



Рис. 1. Участок под проектируемый отвал на северном борту разреза.

Сурет 1. Кеніштің солтүстік бортында жобаланатын үйіндіні орналастыру учаскесі.

Figure 1. Site for the projected dump on the northern side.

По своему составу свалка (далее – насыпной грунт) представляет собой неоднородный смешанный насыпной материал, который включает в себя суглинок, грунт переложный, слежавшийся с включением строительного и бытового мусора мощностью 10–12 м. При производстве инженерно-геологических изысканий свойства насыпного массива не изучались по причине его непригодности для использования в качестве оснований зданий и сооружений. В материалах изысканий он обозначен как инженерно-геологический элемент (ИГЭ – 1).

Согласно действующих Строительных норм и Правил (СНиП) такой материал рекомендуется удалять на всю мощность отложения с заменой на песчано-гравийную смесь [1, 2]. Однако эта рекомендация касается области строительства. В данной работе предпринята попытка изолировать слой свалки вскрышными породами и провести анализ устойчивости проектируемого сооружения методом предельного равновесия для отвалов на слабом основании большой мощности. При формировании отвала поверх насыпного грунта (ИГЭ – 1) данный грунт становится частью его основания, приобретая функцию структурного элемента и первого яруса отвала. В связи с этим при выполнении расчетов устойчивости проектируемого отвала особое внимание уделяется оценке влияния физико-механических свойств техногенного основания на его устойчивое состояние. Расчеты устойчивости выпол-

нены с использованием методов предельного равновесия, основанных на анализе условий равновесия потенциальной поверхности скольжения. Определение коэффициента запаса устойчивости проводилось с применением методик ВНИМИ, а также методов Bishop, Janbu и GLE Morgenstern-Price с учетом инженерно-геологических условий и физико-механических характеристик грунтов основания и отвала [3–5].

Материалы и методы исследований

Инженерно-геодезические изыскания на части площадки для формирования внешнего автомобильного отвала площадью 25,4 га были выполнены в 2021 г. Изыскания выполнены с целью получения топографо-геодезических материалов и данных о рельефе и ситуации местности для создания планов и цифровой модели местности (ЦММ), а также изучения геолого-литологического строения участка, классификации грунтов, выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ), определения условий их залегания, гидрологических условий и оценки прочностных и деформационных характеристик грунтов [6, 7]. Топографическая съемка участка выполнена методом тахеометрической съемки с использованием электронных тахеометров Trimble M3 и GNSS – приемника Trimble R8 в режиме RTK.

Отметки основания (земная поверхность) изменяются в пределах от +182,0 м (восточная часть участка) до +187,0 м (западная часть). Перепад отметок в пределах 5,0 м на 1,0 км простирания борта. Рельеф равнинный с незначительным уклоном с запада на восток. Отвал по верху имеет среднюю отметку +196,0 м. Таким образом, высота отвала составляет от 10 до 15 м. Кроме того, отвал «надвинут» на два верхних уступа стационарного борта разреза «Северный». По верхнему уступу стационарного борта на протяжении около 1,0 км он полностью засыпан отвалом. Верхняя площадка второго уступа на горизонте +176,0 м является основанием отвала в контуре разреза. Там высота отвала составляет около 20 м (отметки +176,0 ÷ +196,0 м).

На исследуемой территории было пробурено 5 скважин, из них 4 скважины глубиной по 10,0 м и одна скважина (скв. № 5) глубиной 15,0 м, пробуренная через тело отвала (рис. 2). Общий объем бурения составил 55,0 п. м. [8, 9].

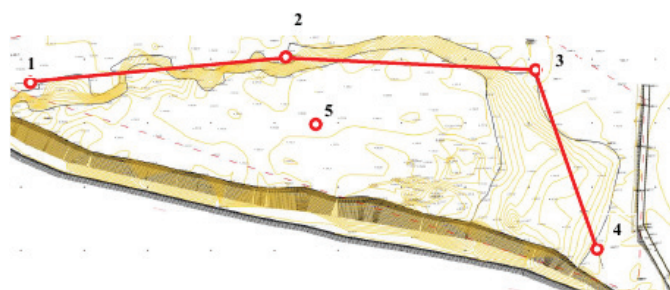


Рис. 2. Расположение разведочных скважин.
Сурет 2. Барлау ұңғымаларының орналасуы.
Figure 2. Exploration wells location.

Подземные воды вскрыты в скважинах № 2 (на глубине 3,0 м) и № 3 (на глубине 4,7 м). Скважины № 1 и № 4

расположены близко к контуру разреза и дренированы депрессионной воронкой. В скважинах, начиная с глубины 1,0 м через каждый метр до проектной глубины, были отобраны пробы суглинков для определения физико-механических характеристик (естественной влажности, пределов пластичности, плотности, плотности частиц, коэффициента пористости, степени водонасыщения, угла внутреннего трения, сцепления, модуля Юнга и коэффициента Пуассона).

Геологическое строение участка изысканий в пределах разведанной глубины представлено двумя инженерно-геологическими элементами (ИГЭ):

1. ИГЭ – 1. Насыпной грунт (свалка), включающий темно-коричневый суглинок, грунт переотложенный, слежавшийся с включением строительного и бытового мусора, доля которого оценивается порядка 50%.

2. ИГЭ – 2. Суглинок серо-зеленый, с глубины 6,5 м суглинок коричневый, полутвердый, с прослоями песка мощностью до 5 см, с включением дресвы и щебня (до 15%). Ниже уровня грунтовых вод дресва и щебень локально обводнены.

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики суглинков (ИГЭ – 2).

Таблица 1
Физико-механические характеристики суглинков
Кесте 1

Саздақтардың физикалық-механикалық сипаттамалары

Table 1
Physical-mechanical properties of the loam rock

Параметр	Естественная влажность (13%)	Полное водонасыщение
Объемный вес, kN/m ³	18,2	16,1
Число пластичности	0,12	- - -
Модуль Юнга, МПа	8,0	6,0
Коэффициент Пуассона	0,35	0,42
Сцепление, kPa	32,0	7,0
Угол трения, градус	23,0	15,0

По результатам лабораторных исследований для суглинков в образцах определены средние значения прочностных характеристик: сцепление составляет 32 кПа, угол внутреннего трения 23°. Свойства насыпного грунт (ИГЭ – 1) не изучались по причине его непригодности для использования в качестве оснований зданий и сооружений. Для моделирования состояния и расчета устойчивости откосов отвала использована программа Slide (пакета Rockscience) [9]. Интерпретация лабораторных данных в программе RockLab для оценки прочностных и деформационных характеристик массива суглинков представлена на рис. 3.

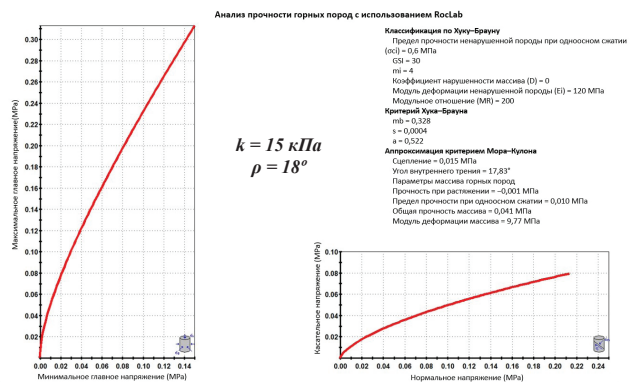


Рис. 3. Оценка свойств массива суглинков в RockLab.

Сурет 3. RockLab бағдарламасында саздақтар массивінің қасиеттерін бағалау.

Figure 3. RockLab loam mass properties estimation.

С учетом масштабного фактора по оценке в *RockLab* прочностных характеристик суглинков (в массиве): сцепление 15 кПа, угол внутреннего трения 18 градусов.

Результаты и обсуждение

Выполнен предварительный расчет устойчивости автомобильного отвала общей высотой 50 м. Конструкция отвала включает пять ярусов по 10 м. Ширина площадок – 10 м, генеральный угол 24,2°. В расчетах приняты следующие физико-механические характеристики: отсыпанного отвала сцепление 5,0 кПа, угол внутреннего трения 30°; основание (суглинок) сцепление 15,0 кПа; угол внутреннего трения 18°. По анализу в *RockLab* учтен масштабный фактор и снижение прочности суглинков.

Результаты расчета представлены на рис. 4.

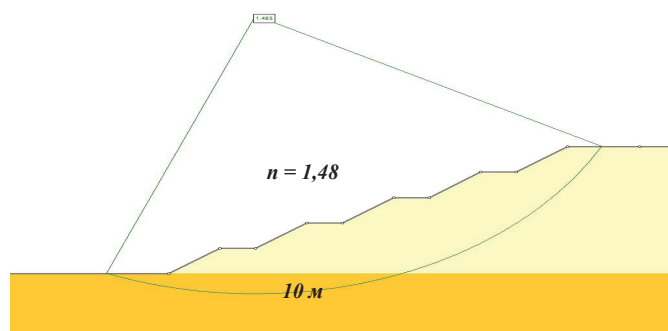


Рис. 4. Предварительная оценка устойчивости отвала.

Сурет 4. Үйіндінің орнықтылығын алдын ала бағалау.

Figure 4. Dump stability tentative estimation.

Предварительный расчет показывает устойчивое состояние проектного контура отвала ($KЗУ = 1,48$), отсыпанного в идеальных условиях на необходимые суглинки. Как было сказано выше, в скважинах № 1 и № 4, которые расположены ближе к контуру разреза, воды не обнаружено, они дренированы депрессионной воронкой.

Далее рассмотрены основные неблагоприятные факторы, оказывающие влияние на устойчивость проектируемого отвала, включая наличие слабого техногенного ос-

нования, особенности геологического строения участка и конструктивные параметры отвала.

Насыпной грунт представлен темно-коричневым суглинком, являющимся переотложенным и слежавшимся грунтом с включением строительного и бытового мусора. По результатам изысканий рекомендовано удалять насыпной грунт на всю мощность отложения, с заменой на песчано-гравийную смесь, но это весьма дорогостоящее мероприятие. Поэтому в рамках проводимого исследования рассматривается возможность формирования отвала поверх свалки. При этом насыпной грунт (ИГЭ – 1) оказывается в основании отвала и является его нижним ярусом. Оценим влияние нижнего слабого яруса отвала на его устойчивость.

Расчет устойчивости отвала на всю проектную высоту по круглоцилиндрической поверхности скольжения не в полной мере отражает возможные условия потери устойчивости, поскольку такая поверхность проходит через более прочные суглинистые слои основания. В связи с наличием слабого техногенного слоя ИГЭ – 1 необходимо учитывать потенциальную возможность смещения отвала по контакту с основанием. Поэтому при оценке устойчивости особое внимание уделяется анализу влияния прочностных характеристик слабого слоя на устойчивость формируемого отвала.

Первый расчет дал значение коэффициента запаса ниже единицы. Увеличить его значение возможно путем изменения конструкции ярусов, уменьшая генеральный угол откоса за счет увеличения ширины площадок. Увеличиваем ширину площадок до 15 м. Выбор ширины площадок 15 м принят по результатам расчетного подбора конструктивных параметров, обеспечивающих выполнение условий устойчивости при сохранении технической возможности размещения отвала. При этом генеральный угол будет равен 20,8°. Результаты расчета представлены на рис. 5.

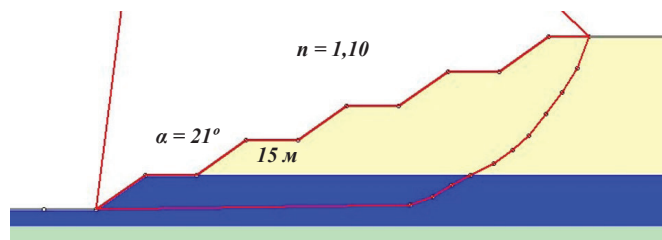


Рис. 5. Оценка устойчивости отвала на слабом основании ($b = 15 \text{ м}$).

Сурет 5. Әлсіз негіздегі үйіндінің орнықтылығын бағалау ($b = 15 \text{ м}$).

Figure 5. Dump stability estimation on weak foundation ($b = 15 \text{ м}$).

Коэффициент запаса $n = 1,10$ ниже допустимого нормативного значения [5, 6]. При расположении отвала в непосредственной близости от ответственного сооружения (борт разреза) или наличия слабого основания, минимально допустимое значение коэффициента запаса устойчивости $n_{\min} = 1,30$. Расчет показал нестабильное состояние проектного контура отвала. Необходимо обеспечить ширину площадок более 15 м и значение генерального угла

менее 20° . Для следующих итерации расчета проектного контура, увеличим площадки до 25 метров (рис. 6).

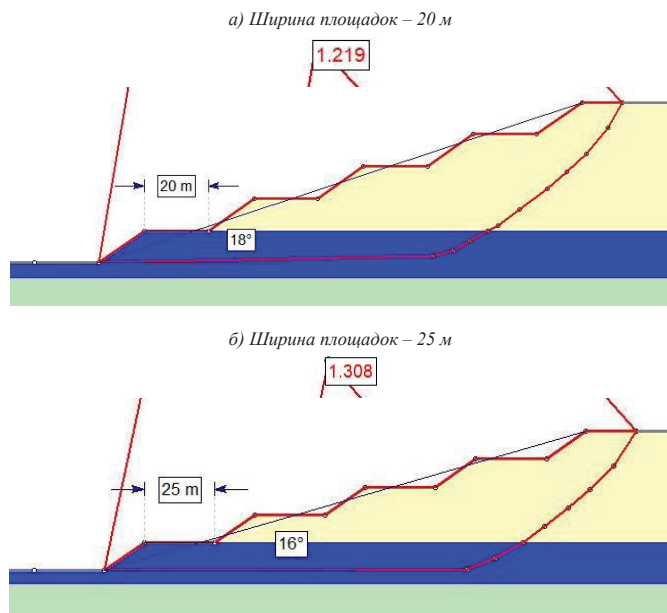


Рис. 6. Оценка устойчивости отвала на слабом основании ($b = 20$ м и $b = 25$ м).

Сурет 6. Әлсіз негіздегі үйіндінің орнықтылығын бағалау ($b = 20$ м және $b = 25$ м).

Figure 6. Dump stability estimation on weak foundation ($b = 20$ m and $b = 25$ m).

Расчеты показали, что для вышележащих ярусов отвала требуемая устойчивость обеспечивается при ширине горизонтальных площадок 20 м. Однако данное решение не может быть распространено на нижний ярус, поскольку он формируется на слабом техногенном основании (ИГЭ – 1), представленном насыпным грунтом, и воспринимает нагрузку от всей вышележащей части отвала. При ширине площадки нижнего яруса 20 м его состояние является предельным (рис. 7), что не обеспечивает необходимый запас устойчивости. В связи с этим по результатам выполненных вариантных расчетов для нижнего яруса (отм. +195 м) рекомендуется увеличить ширину площадки до 25 м, тогда как для вышележащих ярусов достаточной является ширина площадок 20 м.

Закключение

Выполненное исследование позволило установить закономерности формирования устойчивого состояния проектируемого внешнего автомобильного отвала «Озерный-2» разреза «Северный» ТОО «Богатырь Комир» с учетом особенностей инженерно-геологического строения участка, физико-механических свойств грунтов основания и конструктивных параметров отвала.

Устойчивость проектируемой конструкции определяется совокупным влиянием геотехнических условий основания и параметров формирования отвала. При идеализированных условиях заложения на прочном необводненном основании, представленном суглинками ИГЭ – 2, проектные параметры отвала высотой 50 м обеспечивают

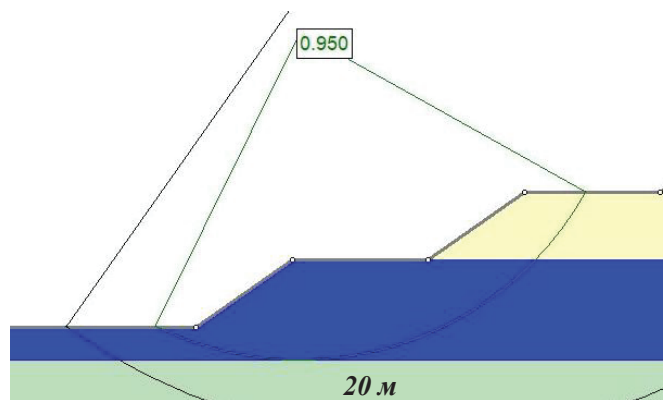


Рис. 7. Оценка устойчивости первого яруса отвала ($b_1 = 20$ м).

Сурет 7. Үйіндінің бірінші ярусының орнықтылығын бағалау ($b_1 = 20$ м).

Figure 7. First floor dump stability estimation ($b_1 = 20$ m).

устойчивое состояние. Однако наличие в основании техногенного слоя ИГЭ – 1, представленного переотложенным слежавшимся грунтом с включением строительного и бытового мусора, является определяющим фактором, ограничивающим устойчивость отвальной конструкции. Проведенный анализ показал, что при оценке устойчивости отвала необходимо учитывать возможный механизм деформирования, связанный со смещением по слабому контакту между телом отвала и техногенным основанием. Расчетные схемы, не учитывающие влияние слабого слоя, не отражают наиболее неблагоприятные условия работы сооружения, поскольку потенциальная поверхность скольжения может развиваться преимущественно по зоне пониженной прочности. Учет прочностных характеристик ИГЭ – 1, а также масштабного фактора при расчетах приводит к снижению расчетных показателей устойчивости и требует корректировки конструктивных параметров отвала. Повышение устойчивости отвала возможно за счет оптимизации его геометрических параметров путем увеличения ширины горизонтальных площадок и уменьшения генерального угла откоса. При этом наиболее критическим элементом конструкции является нижний ярус, сформированный на техногенном основании, поскольку он воспринимает суммарную нагрузку от вышележащих ярусов и характеризуется наибольшей неопределенностью прочностных свойств. В связи с этим для снижения риска развития деформаций рекомендовано увеличение ширины площадки первого яруса до 25 м, а вышележащих ярусов до 20 м. Оценка влияния гидрогеологических условий показала, что подземные воды на исследуемом участке имеют локальное распространение и при рассмотренных расчетных условиях не оказывают существенного влияния на устойчивость отвала. Наличие слабых глинистых и техногенных грунтов обуславливает необходимость учета возможного снижения их прочностных характеристик при переувлажнении. В связи с этим обязательным условием безопасного формирования отвала является обеспечение надежного функционирования системы водоотвода и предотвращение накопления влаги в зоне основания. Определяющим фактором устойчивости проектируемого

отвала «Озерный-2» является взаимодействие отвальной конструкции со слабым техногенным основанием ИГЭ – 1. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к оценке устойчивости техногенных массивов, включающего учет реального инженерно-геоло-

гического строения основания, анализ возможных механизмов деформирования, обоснование рациональных геометрических параметров и последующий геотехнический мониторинг состояния отвала и прилегающего стационарного борта разреза «Северный» [10, 11].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Госстрой СССР, 1995 (на русском языке)
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2013. – 38 с. (на русском языке)
3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Наука, 1965. – 280 с. (на русском языке)
4. Read J., Stacey P. Руководство по проектированию бортов карьеров. – Коллингвуд, Виктория, Австралия: CSIRO Publishing, 2010. – 511 с. (на английском языке)
5. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 208 с. (на русском языке)
6. Оценка параметров устойчивых внутренних отвалов на разрезе «Богатырь» / П. С. Шпаков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 345–356 (на русском языке)
7. Старостина О. В. Исследование устойчивости уступов верхних горизонтов стационарного борта разреза «Богатырь» // Уголь. – 2019. – № 1. – С. 27–33 (на русском языке)
8. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. – М.: Горная книга, 2006. – 390 с. (на русском языке)
9. Разработка комплексной системы геотехнического мониторинга техногенных объектов на основе геопространственных данных / V. V. Kazantseva [и др.] // Journal of Mining Institute. – 2025. – Т. 276. – Вып. 1. – С. 142–156 (на английском языке)
10. Испытания образцов горных пород и анализ устойчивости откосов отвала горных пород / P. Zou [и др.] // Advances in Civil Engineering. – 2018. – Т. 2018. – Ст. 6835709 (на английском языке)
11. Исследование устойчивости отвала открытого горного предприятия с использованием волоконно-оптического мониторинга / Z. Tao [и др.] // Geofluids. – 2018. – Т. 2018. – Ст. 9631706 (на английском языке)
12. Анализ разрушения откоса при строительстве открытого горного предприятия в Индонезии: практический пример / A. Pratiyo [и др.] // Canadian Geotechnical Journal. – 2019. – Т. 56. – № 5. – С. 636–648 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ҚНЖЕ 2.02.01-83. Ғимараттар мен құрылыстардың негіздері. – Мәскеу: КСРО Мемқұрылысы, 1995 (орыс тілінде)
2. ГОСТ 25100-2011. Топырақтар. Жіктелуі: мемлекетаралық стандарт. – Мәскеу: Стандартинформ, 2013. – 38 б. (орыс тілінде)
3. Фисенко Г. Л. Карьерлер мен үйінділер борттарының орнықтылығы. – М.: Наука, 1965. – 280 б. (орыс тілінде)
4. Read J., Stacey P. Карьер борттарын жобалау жөніндегі нұсқаулық. – Коллингвуд, Виктория, Австралия: CSIRO Publishing, 2010. – 511 б. (ағылшын тілінде)
5. Көмір разрездеріндегі еңістердің орнықтылығын қамтамасыз ету қағидалары. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, 1998. – 208 б. (орыс тілінде)
6. «Богатырь» разрезіндегі орнықты ішкі үйінділер параметрлерін бағалау / П. С. Шпаков [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2016. – № 2. – Б. 345–356 (орыс тілінде)
7. Старостина О. В. «Богатырь» разрезінің стационарлық бортының жоғарғы горизонттары кертпеістерінің орнықтылығын зерттеу // Уголь. – 2019. – № 1. – Б. 27–33 (орыс тілінде)
8. Макаров А. Б. Практикалық геомеханика. – М.: Горная книга, 2006. – 390 б. (орыс тілінде)
9. Кеңістіктік деректер негізінде техногендік объектілердің геотехникалық мониторингінің кешенді жүйесін әзірлеу / V. V. Kazantseva [және т. б.] // Journal of Mining Institute. – 2025. – Т. 276. – Шығ. 1. – Б. 142–156 (ағылшын тілінде)
10. Тау жыныстары үлгілерін сынау және кен үйіндісі еңістерінің орнықтылығын талдау / P. Zou [және т. б.] // Advances in Civil Engineering. – 2018. – Т. 2018. – 6835709 (ағылшын тілінде)
11. Талшықты-оптикалық мониторингі қолдану арқылы ашық кеніш үйіндісінің орнықтылығын зерттеу / Z. Tao [және т. б.] // Geofluids. – 2018. – Т. 2018. – 9631706 (ағылшын тілінде)
12. Индонезиядағы ашық кеніш құрылысы кезіндегі еңіс опырылуын талдау: тәжірибелік зерттеу / A. Pratiyo [және т. б.] // Canadian Geotechnical Journal. – 2019. – Т. 56. – № 5. – Б. 636–648 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. SNIP 2.02.01-83. *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Foundations of Buildings and Structures]. – Moscow, 1995 (in Russian)
2. GOST 25100-2011. *Grunty. Klassifikatsiya* [Soils. Classification]: interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2013. – 38 p. (in Russian)
3. Fisenko G. G. *Ustoychivost' bortov kar'erov i otvalov* [Stability of Quarry Walls and Rock Deposits]. – Moscow: Nauka, 1965. – 280 p. (in Russian)
4. Read J., Stacey P. *Guidelines for Open Pit Slope Design*. – Collingwood, VIC, Australia: CSIRO Publishing, 2010. – 511 p. (in English)
5. *Pravila obespecheniya ustoychivosti otkosov na ugol'nykh razrezakh* [Rules for Ensuring Slope Stability in Coal Mines]. – St. Petersburg: VNIMI, 1998. – 208 p. (in Russian)
6. *Otsenka parametrov ustoychivyykh vnutrennikh otvalov razreza «Bogatyry»* [Estimation of the Parameters of Stable Internal Dumps at the Bogatyr Mine] P. Shpakov et al. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (GIAB)* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – Moscow. – 2016. – No. 2. – P. 345–356 (in Russian)
7. *Issledovanie ustoychivosti ustupov verkhnikh gorizontov stacionarnogo borta razreza «Bogatyry»* [Study of the Stability of the Ledges of the Upper Horizons of the Stationary Side of the Bogatyr Open Pit] O. Starostina et al. *Ugol' [Coal]*. – 2019. – No. 1. – P. 27–33 (in Russian)
8. Makarov A. *Prakticheskaya mekhanika gornyykh porod* [Practical Rock Mechanics]. – Moscow: Gornaya kniga, 2006. – 390 p. (in Russian)
9. Development of complex system of geotechnical monitoring of technogenic objects based on geospatial data / V. V. Kazantseva et al. // *Journal of Mining Institute*. – 2025. – Vol. 276. – Issue 1. – P. 142–156 (in English)
10. Sample Rocks Tests and Slope Stability Analysis of a Mine Waste Dump / P. Zou et al. // *Advances in Civil Engineering*. – 2018. – Vol. 2018. – Article 6835709 (in English)
11. Research on Stability of an Open-Pit Mine Dump with Fiber Optic Monitoring / Z. Tao et al. // *Geofluids*. – 2018. – Vol. 2018. – Article 9631706 (in English)
12. Case Study of Slope Failure during Construction of an Open-Pit Mine in Indonesia / A. Pramujito et al. // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2019. – Vol. 56. – No. 5. – P. 636–648 (in English)

Сведения об авторах:

Байғали Р. Қ., м. т. н., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), r.baygali@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-4431-2172>

Ярцева В. Ф., м. т. н., ст. преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), v.yartseva@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3015-0280>

Бондаренко Т. Т., к. т. н., главный инженер, ТОО «АлГеоРитм» (г. Караганда, Казахстан), ttbondarenko@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5940-0540>

Турсынбеков А. А., магистрант, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), azat_t@icloud.com; <https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>

Авторлар туралы мәліметтер:

Байғали Р. Қ., техника ғылымдарының магистрі, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы, «Әбілқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

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

Бондаренко Т. Т., техника ғылымдарының кандидаты, «АлГеоРитм» ЖШС бас инженері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Турсынбеков А. А., магистрант, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті» КЕАҚ (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Baigali R., Master, Teacher of the «Geodesy and Mine Surveying» Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Yartseva V., Master, senior lecturer of the Department of Mine Surveying and Geodesy, «Abylkas Saginov technical university» (Karaganda, Kazakhstan)

Bondarenko T., Candidate of Technical Sciences, «AlGeoRitm» LLP Chief Engineer (Karaganda, Kazakhstan)

Tursynbekov A., Master's student, of the «Satpayev Kazakh National Research Technical University» (Almaty, Kazakhstan)

НАДЕЖНЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ ДЛЯ ВАШЕГО БИЗНЕСА



г. Алматы
Бульвар Бухар Жырау
№33, офис 46



+7 707 306 7511



info@unilinkcom.kz

Организуем **железнодорожные перевозки**
с собственным парком вагонов и полным сопровождением грузов.



Основные направления

Железнодорожные
перевозки

Транспортно-
экспедиторское
сопровождение

Управление собственным
вагонным парком

2011

год основания
компании

288

вагонов
в собственном
подвижном парке

300 000+ тонн

перевозимых
грузов ежегодно

3 региона

Казахстан · СНГ ·
международные
направления

Код МРНТИ 87.35.91:52.13.17

*Е. Ж. Ормамбеков¹, С. Р. Гречухин², Р. В. Шульц³, А. А. Турсынбеков¹¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²АО «Altyntau Kokshetau» (АТК) (г. Кокшетау, Казахстан),³Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM) (г. Дахран, Саудовская Аравия)

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ СЛУЖБА АО «АЛТЫНТАУ КОКШЕТАУ»: КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования и практического применения комплексной системы геотехнического мониторинга, внедренной на Васильковском золоторудном месторождении АО «Altyntau Kokshetau». Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения устойчивости бортов глубокого карьера, своевременного выявления опасных геомеханических процессов и повышения промышленной безопасности при ведении открытых горных работ. Исследование основано на применении автоматизированных геодезических наблюдений, спутникового, георадарного и сейсмического мониторинга, а также методов численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Полученные результаты подтвердили эффективность комплексного подхода к контролю деформационных процессов, повышению достоверности оценки устойчивости бортов карьера и предупреждению возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: карьер, геомеханические процессы, геотехническая служба, GeoMoS, георадар, базовая станция, ГНСС, карта геомеханических опасностей.

«Altyntau Kokshetau» АҚ-ның геотехникалық қызметі: тау-кен жұмыстарын жүргізу қауіпсіздігін қамтамасыз ету жүйесіндегі кешенді мониторинг

Аннотация. Мақалада «Altyntau Kokshetau» АҚ Васильков кен орнында енгізілген кешенді геотехникалық мониторинг жүйесін зерттеу және өндірісте қолдану нәтижелері берілген. Зерттеудің өзектілігі терең карьер борттарының орнықтылығын қамтамасыз ету, қауіпті геомеханикалық үдерістерді дер кезінде анықтау және ашық тау-кен жұмыстарын жүргізу кезіндегі өнеркәсіптік қауіпсіздікті арттыру қажеттілігімен байланысты. Зерттеу барысында автоматтандырылған геодезиялық бақылаулар, спутниктік, георадарлық және сейсмикалық мониторинг, сондай-ақ тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін сандық модельдеу әдістері қолданылды. Алынған нәтижелер кешенді мониторинг жүйесінің деформациялық үдерістерді бақылауда, карьер борттарының орнықтылығын бағалауда және қауіпті жағдайлардың алдын алуда жоғары тиімділігін көрсетті.

Түйінді сөздер: карьер, геомеханикалық үдерістер, геотехникалық қызмет, GeoMoS, георадар, базалық станция, GNSS, геомеханикалық қауіп-қатерлер картасы.

Geotechnical service of Altyntau Kokshetau JSC: integrated monitoring for safe mining operations

Abstract. The paper presents the results of implementing and evaluating an integrated geotechnical monitoring system at the Vasilkovskoye gold deposit operated by Altyntau Kokshetau JSC. The study addresses the need to ensure the stability of deep open-pit slopes, provide early detection of hazardous geomechanical processes, and improve industrial safety during mining operations. The monitoring system combines automated geodetic observations, satellite, ground-based radar and seismic monitoring, together with numerical modelling of the stress-strain state of the rock mass. The obtained results demonstrate the effectiveness of the integrated monitoring approach for controlling deformation processes, improving the reliability of slope stability assessment, and reducing the risk of hazardous situations during open-pit mining.

Key words: open-pit mine, geomechanical processes, geotechnical service, GeoMoS, ground-penetrating radar, base station, GNSS, geomechanical hazard map.

Введение

Золото относится к числу стратегически важных видов минерального сырья, определяющих экономическую безопасность государства и развитие горнодобывающей отрасли. Одной из приоритетных задач Республики Казахстан является наращивание объемов золотодобычи за счет эффективного освоения крупных золоторудных месторождений, к которым относится Васильковское месторождение, разрабатываемое АО «Altyntau Kokshetau».

Современная разработка месторождений открытым способом сопровождается постоянным увеличением глубины карьеров, усложнением горно-геологических условий и ростом геомеханических нагрузок на прибортовые массивы. Изменение напряженно-деформированного состояния горных пород может привести к развитию опасных деформационных процессов, снижению устойчивости откосов, нарушению технологического процесса, экономическим потерям и возникновению аварийных ситуаций [1–3]. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьеров является одним из ключевых условий безопасной и эффективной эксплуатации месторождений.

Значительный вклад в развитие теории геомеханики и методов оценки устойчивости массивов внесли отечественные и зарубежные исследователи [4–6]. В последние годы широкое применение получили спутниковые техно-

логии позиционирования, роботизированные геодезические комплексы, лазерное сканирование и численное моделирование, позволяющие существенно повысить точность геотехнического мониторинга. Однако существующие методы не всегда обеспечивают надежное прогнозирование развития опасных геомеханических процессов в сложных горно-геологических условиях, что обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования комплексных методов мониторинга и моделирования напряженно-деформированного состояния массива [7–9].

Цель работы – повышение промышленной и экологической безопасности разработки Васильковского месторождения путем совершенствования методики геотехнического мониторинга и прогнозирования опасных геомеханических процессов на основе моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели использован комплексный подход, включающий инженерно-геологические исследования, структурно-тектоническое картирование, высокоточные маркшейдерско-геодезические наблюдения с использованием современных геотехнических измерительных комплексов и GNSS-технологий, а также анализ

напряженно-деформированного состояния массива с применением методов геомеханического моделирования.

Результаты и обсуждение

Горно-геологические условия

Детально изучены *горно-геологические* и горно-технические условия Васильковского месторождения [10]. Месторождение является одним из крупнейших объектов золотодобывающей промышленности Республики Казахстан и входит в число двадцати крупнейших золоторудных месторождений мира по величине запасов, масштабам добычи и производственному потенциалу. Месторождение расположено в Акмолинской области Республики Казахстан, в 17 км к северу от города Кокшетау. Район характеризуется высоким уровнем промышленного освоения и развитой инженерно-транспортной инфраструктурой, включающей автомобильные и железнодорожные магистрали, энергетические сети, объекты водоснабжения и производственные базы, что обеспечивает эффективное функционирование горнодобывающего предприятия.

В геологическом отношении Васильковское рудное поле приурочено к Алтыбайской синклинальной структуре и представляет собой крупномасштабный золоторудный штокверк гидротермального происхождения. Рудное тело имеет форму полузамкнутого толстостенного эллипса с относительно безрудным центральным ядром, окруженного системой густо развитых кварцево-сульфидных жил и прожилков, содержащих промышленную золотосодержащую минерализацию. Такое строение обусловило формирование значительных запасов полезного ископаемого и предопределило выбор технологии разработки месторождения (рис. 1).

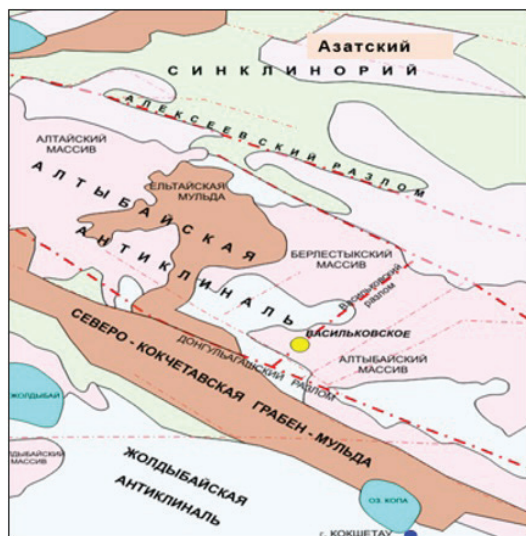


Рис. 1. Структурная схема Васильковского месторождения.

Сурет 1. Васильков кен орнының құрылымдық сұлбасы. Figure 1. Structural scheme of the Vasilkovskoye deposit.

В настоящее время разработка месторождения осуществляется открытым способом с использованием высокопроизводительных горнотранспортных комплексов.

Карьер имеет размеры по верхним горизонтам порядка 1000–1200 м в диаметре, текущая глубина достигает 495 м, а проектная глубина составляет 540 м. По мере увеличения глубины разработки существенно возрастают объемы вскрышных работ, усложняются инженерно-геологические и геомеханические условия эксплуатации бортов карьера, что требует постоянного совершенствования технологий геотехнического мониторинга, контроля устойчивости откосов и управления напряженно-деформированным состоянием массива горных пород.

Технологическая схема предприятия обеспечивает полный цикл переработки минерального сырья с получением сплава Доре, который является промежуточным продуктом производства аффинированного золота. Высокий уровень автоматизации технологических процессов, применение современного оборудования и систем экологического контроля позволяют обеспечивать высокие показатели извлечения золота при соблюдении международных требований промышленной и экологической безопасности.

В настоящее время АО «Алтынтау Кокшетау» реализует стратегическую программу дальнейшего освоения месторождения, предусматривающую углубление карьера и поэтапный переход к комбинированной технологии разработки с последующим освоением глубокозалегающих запасов подземным способом. Реализация данной стратегии позволит значительно продлить срок эксплуатации месторождения, повысить полноту извлечения запасов и обеспечить устойчивое развитие одного из крупнейших предприятий золотодобывающей отрасли Казахстана (рис. 2).

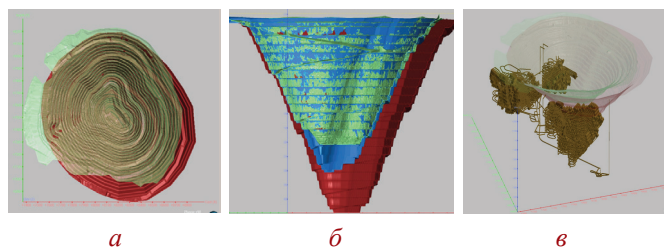


Рис. 2. Перспективные направления развития Васильковского месторождения: а – расширение карьера; б – углубление карьера; в – переход к подземной разработке глубокозалегающих запасов.

Сурет 2. Васильков кен орнының перспективалық бағыттары: а – карьерді кеңейту; б – карьерді тереңдету; в – тереңде орналасқан қорларды жерасты тәсілімен игеруге көшу.

Figure 2. Prospective development directions of the Vasilkovskoye deposit: a – pit expansion; b – pit deepening; c – transition to underground mining of deep-seated ore reserves.

В таких условиях эффективная и безопасная отработка рудных жил возможна только при организации геомеханического мониторинга состояния породных массивов, заключающегося: в систематических наблюдениях за пространственно-временными геомеханическими процессами, возникающими в массиве горных пород в результате его отработки; в математической обработке результатов

наблюдений; содержательном анализе и прогнозе состояния породных массивов, разработке решений по управлению негативными процессами.

Комплексная система геотехнического мониторинга

Для обеспечения устойчивости бортов карьера и безопасного ведения горных работ на АО «Altyntau Kokshetau» создана комплексная система геотехнического мониторинга, объединяющая автоматизированные геодезические наблюдения, георадиолокационный, гидрогеологический, сейсмический и спутниковый мониторинг, а также численное моделирование. Комплексное применение современных методов обеспечивает непрерывный контроль напряженно-деформированного состояния прибортового массива и позволяет своевременно выявлять потенциально опасные деформационные процессы.

Основу геодезического мониторинга составляют три автоматизированные станции Leica GeoMoS, оснащенные роботизированными электронными тахеометрами Leica TM50. Система обеспечивает круглосуточный контроль пространственного положения отражателей, установленных на бортах карьера. По состоянию на конец 2025 года сеть мониторинга включает 637 контрольных пунктов с дальнейшим расширением по мере углубления горных работ. В 2026 году предусмотрена установка дополнительных отражателей и новых автоматизированных станций, что позволит повысить точность и оперативность определения деформаций (рис. 3).

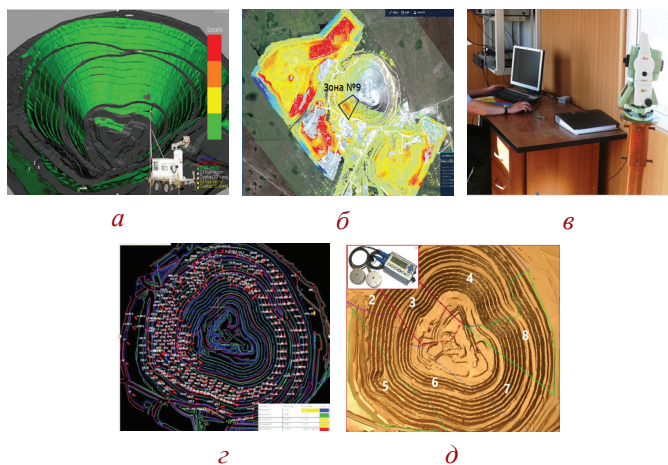


Рис. 3. Системы мониторинга: а – георадарный; б – космический; в – GeoMoS; г – мониторинговые точки; д – сейсмический мониторинг.

Сурет 3. Мониторингік жүйе: а – георадарлық; б – гарыштық; в – GeoMoS; г – мониторингік нүктелер; д – сейсикалық мониторинг.

Figure 3. Monitoring systems: a – ground-based radar; b – satellite; c – GeoMoS; d – monitoring points; e – seismic monitoring.

Результаты

Основным элементом системы оперативного геотехнического контроля являются георадарные комплексы IDS IBIS ArcSAR-360 Performance, обеспечивающие непрерывное дистанционное сканирование бортов карьера

с периодичностью 2 минуты. Обработка измерений выполняется в режиме реального времени с автоматическим выявлением зон активного деформирования, расчетом скоростей смещений и формированием предупредительных сигналов при превышении установленных пороговых значений.

Результаты георадарного мониторинга позволяют своевременно выявлять развитие деформационных процессов и оценивать динамику смещений потенциально неустойчивых участков. В качестве примера на рис. 4 представлены результаты мониторинга смещений участка вывала в зоне № 5 за июнь 2025 года. Анализ полученных данных свидетельствует о локальном характере развития деформаций и позволяет определить пространственное распределение величин смещений, а также выделить наиболее опасные участки, требующие усиленного инструментального контроля и проведения превентивных мероприятий по обеспечению безопасности горных работ.

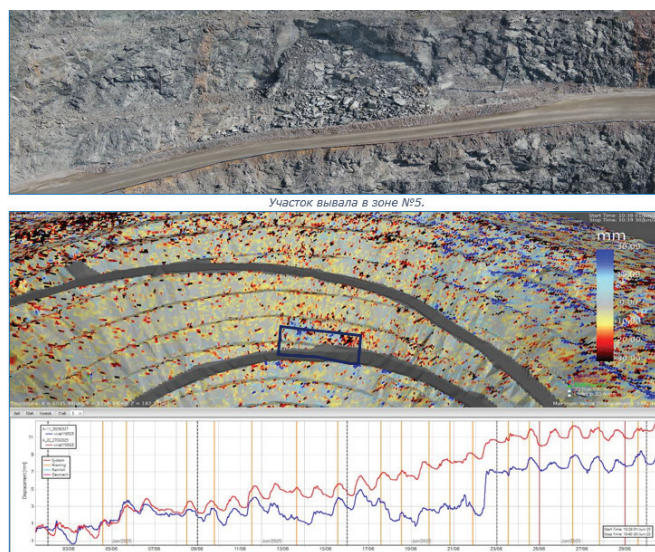


Рис. 4. Результаты радарного мониторинга участка вывала в зоне № 5 за июнь 2025 г.

Сурет 4. 2025 жылғы маусым айындағы № 5 аймақтағы опырылу учаскесінің радарлық мониторинг нәтижелері.

Figure 4. Results of radar monitoring of the slope failure area in zone No. 5 for June 2025.

Введен спутниковый мониторинг участков карьера, рудных складов и породных отвалов. Спутниковый мониторинг обеспечивает контроль деформаций на большой площади и позволяет анализировать медленные смещения. Каждые 11 дней, после пролета спутников над территорией АО «Altyntau Kokshetau», обновляются данные сканирования, позволяющие определить смещения массива горных пород. По данным спутникового мониторинга с апреля 2024 года по июнь 2025 года зарегистрировано наличие деформационных процессов в зоне № 9 (рис. 3, б).

Автоматизированная система мониторинга Leica GeoMoS (рис. 3, в), основанная на роботизированном электронном тахеометре Leica, обеспечивает непрерывные наблюдения за сетью из 637 мониторинговых точек

(рис. 3, 2), размещенных по всему карьерному полю. Система автоматически определяет пространственные смещения, рассчитывает их величину, направление и скорость развития деформаций. В качестве примера на рис. 5 представлены графики смещений за неделю в зоне № 10 Северо-Восточного борта карьера.

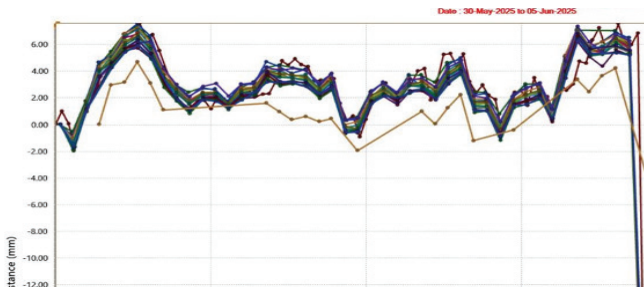


Рис. 5. Графики смещения по GeoMoS мониторингу.
Сурет 5. GeoMoS мониторингі бойынша ығысу графиктері.

Figure 5. Displacement graphs based on GeoMoS monitoring.

Помимо геодезических и георадарных наблюдений, на предприятии реализован комплекс дополнительных методов геотехнического контроля, обеспечивающих всестороннюю оценку состояния массива горных пород. Регулярно выполняется сейсмический контроль буровзрывных работ с оценкой параметров сейсмического воздействия и соблюдения геотехнических рекомендаций при ведении взрывных работ, что позволяет минимизировать их влияние на устойчивость бортов карьера и предохранительных берм.

Для исследования структурного строения массива с 2019 года применяется программный комплекс *Sirovision Datamine*, обеспечивающий трехмерное картирование трещиноватости по цифровым изображениям откосов карьера. Полученные данные используются при построении структурно-геологических моделей и уточнении геомеханических характеристик массива.

Автоматизированная георадарная система, включающая три радара, осуществляет круглосуточное сканирование периметра карьера с интервалом 2 минуты. Обработка результатов выполняется в программном комплексе *Guardian FPM-360*, обеспечивающем автоматическое выявление зон активных деформаций, расчет скоростей смещений и передачу информации в режиме реального времени на диспетчерский пункт рудника. При превышении установленных пороговых значений система автоматически формирует предупреждающий сигнал, что позволяет своевременно принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций.

Представить в рамках одной статьи весь объем ежедневных и ежемесячных результатов мониторинга, полученных геотехнической службой, не представляется возможным. Их детальный анализ будет изложен в отдельных научных публикациях

Для обеспечения непрерывности контроля организован круглосуточное дежурство специалистов геотехниче-

ской службы, а техническое сопровождение георадарной системы осуществляется компанией *Leica Geosystems Kazakhstan*. На основе данных мониторинга регулярно формируются карты геотехнических опасностей (рис. 6), используемые при планировании и безопасном ведении горных работ.



Рис. 6. Карта геотехнических опасных зон.
Сурет 6. Геотехникалық қауіпті аймақтардың картасы.

Figure 6. Geotechnical hazard map.

Таким образом, в АО «*Altyntau Kokshetau*» создана многоуровневая интегрированная система геотехнического мониторинга, объединяющая инструментальные наблюдения, дистанционные методы измерений, спутниковый мониторинг и численное моделирование. Комплексное использование указанных технологий обеспечивает своевременное выявление опасных геомеханических процессов, повышает достоверность оценки устойчивости бортов карьера и способствует обеспечению промышленной безопасности при ведении открытых горных работ.

Выводы

Проведенный анализ современного состояния геотехнического мониторинга Васильковского месторождения показал, что по мере увеличения глубины открытой разработки возрастают требования к обеспечению устойчивости бортов карьера и своевременному выявлению опасных геомеханических процессов.

Установлено, что наиболее эффективным направлением является применение комплексного геотехнического мониторинга, объединяющего автоматизированные геодезические наблюдения, георадарный, гидрогеологический, спутниковый и сейсмический мониторинг, а также методы численного геомеханического моделирования. Интеграция различных методов наблюдений обеспечивает получение наиболее полной информации о состоянии прибортового массива и повышает надежность оценки его устойчивости.

Показано, что использование современных автоматизированных систем мониторинга на АО «*Altyntau Kokshetau*» позволяет организовать непрерывный контроль деформационных процессов, своевременно выявлять потенциально опасные участки и принимать инженерные решения, направленные на обеспечение промышленной безопасности при ведении открытых горных работ.

Перспективы дальнейшего развития геотехнического мониторинга связаны с совершенствованием комплексной

обработки разнородных данных, расширением применения цифровых геомеханических моделей, технологий дистанционного зондирования Земли и автоматизированных систем прогнозирования деформационных процессов, что будет способствовать повышению безопасности и эффективности разработки глубоких карьеров.

Благодарность

Авторы выражают искреннюю благодарность специалистам геотехнической службы и маркшейдерского отдела АО «Altyntau Kokshetau» за предоставленные материалы, содействие и помощь в проведении полевых наблюдений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Simmons J. V. Управление геотехническими рисками на открытых угольных карьерах // *Australian Center for Geomechanics Newsletter*. – 2012. – № 22. – С. 1–4 (на английском языке)
2. Мельников Н. Н. Экологические проблемы XXI века и освоение недр // *Освоение недр и экологические проблемы XXI века*. – М.: ИПКОН РАН, 2010. – С. 26–45 (на русском языке)
3. Трубецкой К. Н. Состояние и основные направления комплексного освоения и сохранения ресурсов земных недр // *Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: материалы IV конференции Международной научной школы академика РАН К. Н. Трубецкого*. – М.: ИПКОН РАН, 2020. – С. 5–11 (на русском языке)
4. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1975. – 378 с. (на русском языке)
5. Певзнер М. Е., Иофис М. А., Попов В. Н. Геомеханика. – М.: МГГУ, 2005. – 347 с. (на русском языке)
6. Машанов А. Ж., Певзнер М. Е., Бекбасаров Ш. С. Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 120 с. (на русском языке).
7. Низаметдинова Ф. К. Управление устойчивостью техногенных горных сооружений: монография. – Караганда: Изд-во Российско-Казахстанского университета, 2014. – 657 с. (на русском языке)
8. Комплексный мониторинг геодинамического полигона месторождений Центрального Казахстана / М. В. Nurpeisova [и др.] // *Proceedings of the 18th International Congress for Mine Surveying*. – Huzhou, China, 24–29 октября 2023 г. – С. 11–19 (на английском языке)
9. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния при комбинированной разработке группы месторождений Жиланды / G. Meirambek [и др.] // *Численное моделирование напряженно-деформированного состояния при комбинированной разработке группы месторождений Жиланды // ES Energy and Environment*. – 2026. – Т. 31. – Ст. 1909 (на английском языке)
10. Рафаилович М. С. Васильковское штокерское месторождение золота: геологическая позиция, минералого-геохимическая зональность, прогнозно-поисковая модель // *Геология и охрана недр*. – 2006. – № 4. – С. 34–41 (на русском языке)
11. Хайков В. Т. Маркшейдерские работы на карьере АО «Altyntau Kokshetau» // *Горный журнал Казахстана*. – 2011. – № 11. – С. 14–16 (на русском языке)
12. Комплексный мониторинг и моделирование устойчивости откосов в структурно-сложном массиве горных пород / М. В. Nurpeisova [и др.] // *Eurasian Mining*. – 2025. – № 1. – С. 46–50 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Simmons J. V. Ашық көмір карьерлеріндегі геотехникалық тәуекелдерді басқару // *Australian Center for Geomechanics Newsletter*. – 2012. – № 22. – Б. 1–4 (ағылшын тілінде)
2. Мельников Н. Н. XXI ғасырдағы экологиялық мәселелер және жер қойнауын игеру // *XXI ғасырдағы жер қойнауын игеру және экологиялық мәселелер*. – Мәскеу: РГА ИПКОН, 2010. – Б. 26–45 (орыс тілінде)
3. Трубецкой К. Н. Жер қойнауы ресурстарын кешенді игеру мен сақтаудың қазіргі жағдайы және негізгі бағыттары // *Жер қойнауын кешенді игеру және сақтау мәселелері мен перспективалары: РГА академигі К. Н. Трубецкой атындағы Халықаралық ғылыми мектептің IV конференциясының материалдары*. – Мәскеу: РГА ИПКОН, 2020. – Б. 5–11 (орыс тілінде)
4. Фисенко Г. Л. Карьерлер мен үйінділер борттарының орнықтылығы. – Мәскеу: Недра, 1975. – 378 б. (орыс тілінде)
5. Певзнер М. Е., Иофис М. А., Попов В. Н. Геомеханика. – Мәскеу: ММТУ, 2005. – 347 б. (орыс тілінде)
6. Машанов А. Ж., Певзнер М. Е., Бекбасаров Ш. С. Каратау бассейні карьерлерінің кемерлері мен борттарының орнықтылығы. – Алматы: Ғылым, 1981. – 120 б. (орыс тілінде).
7. Низаметдинова Ф. К. Техногендік тау-кен құрылыстарының орнықтылығын басқару: монография. – Қарағанды: Ресей-Қазақстан университетінің баспасы, 2014. – 657 б. (орыс тілінде)

8. Орталық Қазақстан кен орындарының геодинамикалық полигонын кешенді мониторингілеу / М. В. Nurpeisova [және т. б.] // *Proceedings of the 18th International Congress for Mine Surveying*. – Xuzhou, China, 24–29 қазан 2023 ж. – Б. 11–19 (ағылшын тілінде)
9. Жыланды кен орындары тобын құрамдастырылған игеру кезіндегі кернеулі-деформацияланған күйді сандық модельдеу / G. Meirambek [және т. б.] // *ES Energy and Environment*. – 2025. – Т. 31. – 1909 (ағылшын тілінде)
10. Рафаилович М. С. Васильков штокверктік алтын кен орны: геологиялық жағдайы, минералогиялық-геохимиялық зоналылығы, болжамдық-іздеу моделі // *Геология және жер қойнауын қорғау*. – 2006. – № 4. – Б. 34–41 (орыс тілінде)
11. Хайков В. Т. «Алтынтау Кокшетау» АҚ карьеріндегі маркшейдерлік жұмыстар // *Қазақстанның тау-кен журналы*. – 2011. – № 11. – Б. 14–16 (орыс тілінде)
12. Құрылымдық күрделі тау жыныстары массивіндегі беткейлердің орнықтылығын кешенді мониторингілеу және модельдеу / М. В. Nurpeisova [және т. б.] // *Eurasian Mining*. – 2025. – № 1. – Б. 46–50 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Simmons J. V. *Geotechnical Risk Management in Open Pit Coal Mines*. Australian Center for Geomechanics Newsletter. – 2012. – No. 22. – P. 1–4 (in English)
2. Mel'nikov N. N. *Ekologicheskie problemy XXI veka i osvoenie nedr [Environmental problems of the XXI century and subsoil development]*. In: *Osvoenie nedr i ekologicheskie problemy XXI veka [Subsoil development and environmental problems of the XXI century]*. Moscow: IPKON RAN, 2010. – P. 26–45 (in Russian)
3. Trubetskoy K. N. *Sostoyanie i osnovnye napravleniya kompleksnogo osvoeniya i sokhraneniya resursov zemnykh nedr [Current state and main directions of integrated development and conservation of mineral resources]*. In: *Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya i sokhraneniya zemnykh nedr: materialy IV konferentsii Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly akademika RAN K. N. Trubetskogo [Problems and prospects of integrated development and conservation of mineral resources: proceedings of the IV Conference of the International Scientific School of Academician of the RAS K. N. Trubetskoy]*. – Moscow: IPKON RAN, 2020. – P. 5–11 (in Russian)
4. Fisenko G. L. *Ustoychivost' bortov kar'erov i otvalov [Stability of open pit slopes and waste dumps]*. – Moscow: Nedra, 1975. – 378 p. (in Russian)
5. Pevzner M. E., Iofis M. A., Popov V. N. *Geomekhanika [Geomechanics]*. – Moscow: MGGU, 2005. – 347 p. (in Russian)
6. Mashanov A. Zh., Pevzner M. E., Bekbasarov Sh. S. *Ustoychivost' ustupov i bortov kar'erov basseyna Karatau [Stability of benches and open pit slopes in the Karatau Basin]*. – Alma-Ata: Nauka, 1981. – 120 p. (in Russian)
7. Nizametdinova F. K. *Upravlenie ustoychivost'yu tekhnogennykh gornyykh sooruzheniy [Management of stability of technogenic mining structures]: monograph*. Karaganda: Izdatel'stvo Rossiysko-Kazakhstanskogo universiteta [Publishing House of the Russian-Kazakh University], 2014. – 657 p. (in Russian)
8. *Comprehensive Monitoring of Geodynamic Polygon of Deposits in Central Kazakhstan* / M. B. Nurpeisova et al. *Proceedings of the 18th International Congress for Mine Surveying*. – Xuzhou, China, October 24–29, 2023. – P. 11–19 (in English)
9. *Numerical Modelling of Stress-Strain State During Combined Mining of Zhilandy Group of Deposits* / G. Meirambek et al. // *ES Energy and Environment*. – 2025. – Vol. 31. – Article 1909 (in English)
10. Rafailovich M. S. *Vasil'kovskoe shtokverkovoe mestorozhdenie zolota: geologicheskaya pozitsiya, mineralogo-geokhimicheskaya zonal'nost', prognozo-poiskovaya model' [Vasilkov stockwork gold deposit: geological setting, mineralogical-geochemical zonation and exploration model]*. *Geologiya i okhrana nedr [Geology and Subsoil Protection]*. – 2006. – No. 4. – P. 34–41 (in Russian)
11. Khaykov V. T. *Marksheyderskie raboty na kar'ere AO «Алтынтау Кокшетау» [Mine surveying operations at the Altyntau Kokshetau open pit]*. *Gornyy zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. – 2011. – No. 11. – P. 14–16 (in Russian)
12. *Integrated Monitoring and Modeling of Slope Stability in Structurally Complex Rock Mass* / M. B. Nurpeisova et al. // *Eurasian Mining*. – 2025. – No. 1. – P. 46–50 (in English)

Сведения об авторах:

Ормамбеков Е. Ж., Ph.D докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан), ye80@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-2248-7214>

Гречухин С. Р., гл. геотехник АО «Altyntau Kokshetau» (г. Кокшетау, Казахстан), sergey.grechukhin@kazzinc.com; <https://orcid.org/0009-0007-3240-0702>

Шульц Р. В., доктор техн. наук, профессор, научный сотрудник, Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM) (г. Дахран, Саудовская Аравия), shultsry@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

Турсынбеков А. А., магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан), azat_t@icloud.com; <https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ормамбеков Е. Ж., Ph.D докторанты, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Satbayev University) (Алматы қ., Қазақстан)

Гречухин С. Р., «Altyntau Kokshetau», АҚ бас геотехнигі (Көкшетау қ., Қазақстан)

Шульц Р. В., техника ғылымдарының докторы, профессор, ғылыми қызметкері, Король Фахд атындағы Мұнай және минералдар университеті (KFUPM) (Дахран қ., Сауд Арабиясы)

Турсынбеков А. А., магистрант, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Satbayev University) (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Ormambekov Y. Zh., Ph.D Doctoral Student, K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

Grechukhin S. R., Chief Geotechnical Engineer, Altyntau Kokshetau JSC (Kokshetau, Kazakhstan)

Shults R. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Research Fellow, King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM) (Dhahran, Saudi Arabia)

Tursynbekov A. A., Master's student, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University) (Almaty, Kazakhstan)

межрегиональная специализированная выставка

САХАПРОМЭКСПО



3 – 4 ДЕКАБРЯ 2026 г. ЯКУТСК

НЕДРА ЯКУТИИ. СПЕЦТЕХНИКА
ЭКОЛОГИЯ. ЭНЕРГО. ЗОЛОДОДОБЫЧА
СВЯЗЬ. БЕЗОПАСНОСТЬ

Организаторы:

СИБЭКС SERVICE

Выставочная компания
Сибэкспосервис
г. Новосибирск

САХАЭКСПОСЕРВИС

Выставочная компания
СахаЭкспоСервис
г. Якутск

Тел:(383) 3356350, e-mail: vkse@yandex.ru, www.ses.net.ru

Код МРНТИ 87.35.91

*О. Байтурбай¹, М. Б. Нұрпейісова¹, А. Т. Салқынов², Дж. Сагин³

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан),

²«АлГеоРитм» ҒӨК (Қарағанды қ., Қазақстан),

³Батыс Мичиган университеті (Мичиган, АҚШ)

СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫ ЖӘНЕ ОНЫ ШЕШУДІҢ ЖОЛДАРЫ

Аннотация. Мақалада Қазақстанның су ресурстарының, оның ішінде жерасты суларының негізгі ластану көздері қарастырылып, олардың жай-күйін бағалауға арналған қашықтан мониторингтеу әдісі ұсынылған. Зерттеудің мақсаты – Балқаш көлі жағалауындағы кен өндіру және кен байыту кәсіпорындарының қызметінен туындайтын ауыр металдармен ластану ерекшеліктерін анықтау және оның алдын алуға бағытталған инженерлік қолжетімді әрі экономикалық тиімді әдісті әзірлеу. Зерттеу барысында дренаждық жүйелер мен бақылау ұңғымаларын пайдалана отырып, ластанушы заттардың таралу бағытын бақылау тәсілі қарастырылды. Ұсынылған әдіс дренаждық арналар мен көл аралығында орналасқан бақылау ұңғымалары арқылы ластанушы заттардың миграциясын үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді. Нәтижелер тау-кен кәсіпорындарында енгізіліп, Satbayev University оқу үдерісінде қолданылуда.

Түйінді сөздер: су ресурстары, судың ластануы, ауыр металдар, қашықтықтан мониторинг.

Water resources pollution and ways to address it

Abstract. This paper examines the major sources of water pollution in Kazakhstan, including groundwater, and proposes a remote monitoring method for assessing their condition. The aim of the study is to identify the characteristics of heavy metal pollution caused by the activities of mining and ore-processing enterprises in the coastal zone of Lake Balkhash and to develop an engineering-feasible and economically efficient method for preventing such pollution. The proposed method enables continuous monitoring of contaminant migration through observation wells installed between drainage channels and the lake, providing information on changes in water quality. The research results have been implemented at mining enterprises in Kazakhstan and are used in the educational process at Satbayev University.

Key words: water resources, water pollution, heavy metals, groundwater, remote monitoring.

Загрязнение водных ресурсов и пути его решения

Аннотация. В статье рассмотрены основные источники загрязнения водных ресурсов Казахстана, включая подземные воды, и предложен метод дистанционного мониторинга их состояния. Цель исследования – выявление особенностей загрязнения тяжелыми металлами, обусловленного деятельностью горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий, расположенных на побережье озера Балхаш, и разработать инженерно доступный и экономически эффективный метод, направленный на предупреждение данного загрязнения. В исследовании рассмотрен подход, основанный на использовании дренажных систем и наблюдательных скважин для контроля миграции загрязняющих веществ. Предлагаемый метод обеспечивает непрерывный контроль распространения загрязнителей с использованием скважин, размещенных между дренажными каналами и озером, что позволяет отслеживать изменения качества воды. Результаты исследования внедрены на горнодобывающих предприятиях и используются в образовательном процессе Satbayev University.

Ключевые слова: водные ресурсы, загрязнение воды, тяжелые металлы, подземные воды, дистанционный мониторинг.

Кіріспе

Қазақстан су ресурстары бойынша әлемдегі су тапшылығы байқалатын елдердің қатарына жатады. Елдің су қоры жер үсті және жер асты сулары есебінен қалыптасады. Жер үсті суларының 44,3%-ы көршілес мемлекеттер аумағынан келетін трансшекаралық өзендердің ағыны есебінен қалыптасқан.

Сараптамалық деректер бойынша, республика аумағында жан басына шаққандағы жылдық су ресурстарының көлемі орта есеппен шамамен 6 мың м³ құрайды, бұл көрсеткіш Ресей Федерациясымен салыстырғанда шамамен алты есе төмен. Қазақстан табиғи және минералдық ресурстарға бай мемлекет болғанымен, су ресурстарының шектеулілігі елдің тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуына әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып есептеледі. Қазақстанның су ресурстарының едәуір бөлігі трансшекаралық өзендер ағыны есебінен қалыптасады. Жалпы су қорының шамамен 50%-ы Ресей, Қытай, Қырғызстан, Өзбекстан және Тәжікстан аумақтарынан бастау алатын өзендер арқылы келеді. Осыған байланысты трансшекаралық су ресурстарын тиімді басқару мәселесі республиканың су қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі негізгі бағыттардың бірі болып табылады [1–3]. Қазақстан аумағы 8 негізгі су шаруашылығы бассейніне бөлінеді (1-сурет): Арал-Сырдария су бассейні, Балқаш-Алакөл, Ертіс, Есіл, Нұра-Сарысу, Тобыл-Торғай, Шу-Талас және Жайық-Каспий бассейндері.

Аталған бассейндер су ресурстарын есепке алу, бөлу, пайдалану және қорғау саласындағы мемлекеттік саясатты іске асырудың негізгі аумақтық бірліктері болып табылады.



Сурет 1. Қазақстан Республикасының су шаруашылығы бассейндері.

Figure 1. Water Management Basins of the Republic of Kazakhstan.

Рис. 1. Водохозяйственные бассейны Республики Казахстан.

Сонымен қатар, Қазақстан Республикасы жер асты суларына аса бай мемлекеттердің бірі саналады. Зерттеулерге сүйенсек, еліміздегі пайдалануға жарамды жерасты су қоры жылына 55 млрд текше метрге жуықтайды және 2026 жылы Қазақстан Республикасының Су ресурстары және ирригация министрлігі елде 4803 барланған жер асты су кен орны бар екенін жариялады. Бұл – құрғақшылық жиілеп, климаттық өзгеріс күшейген кезеңде ерекше маңызға ие көрсеткіш және баға жетпес байлығымыз. Бұл байлық миллиондаған тұрғынның ауыз суға деген сұранысын өтеп қана қоймай, ауыл шаруашылығы, өндіріс және өңдеу салаларының тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз

етеді. Оны ұқыпты пайдалану, қорын сақтау, ластанудан қорғау – келешек ұрпақ алдындағы үлкен міндет. Жерасты су қорын ғылыми негізде бағалау және оны тиімді пайдалану – Қазақстан үшін күн тәртібінен түспейтін маңызды міндеттердің бірі [4, 5].

Осы мақсатта елімізде алғаш рет Қазақстанның жерасты суларына арналған кешенді гидрогеологиялық атлас әзірленді. Бұл іргелі еңбекті ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің қолдауымен Сәтбаев университетінің Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының ғалымдары дайындады. Атлас – жерасты суы туралы бұрын-соңды болмаған көлемді әрі жүйеленген ғылыми база. Қазақстанның жерасты сулары – елдің табиғи қоры. Сонымен қатар, ел экономиканың жетекші салаларының бірі болып саналатын тау-кен металлургия кешені, жерасты суларының сапасына айтарлықтай әсер етеді. Негізгі ластану көздеріне шахталық және карьерлік сулар, қалдық сақтау қоймалары, үйінділер, булану тоғандары, атмосфералық жауын-шашын сулары және металлургиялық қалдықтар жатады. Бұл мәселе бойынша Қазақстан Республикасының «Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы», заңында мұнай-газ кәсіпорындарына жер қойнауының өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында жер бетінің жайкүйіне тұрақты мониторинг жүргізу міндеті жүктелген [6].

Зерттеудің мақсаты мен әдістемесі

Зерттеудің мақсаты – Балқаш көлі жағалауындағы кен өндіру және кен байыту кәсіпорындарының қызметінен туындайтын ауыр металдармен ластану ерекшеліктерін анықтау және оның алдын алуға бағытталған инженерлік қолжетімді әрі экономикалық тиімді әдісті әзірлеу.

Зерттеу Балқаш өңірінің әртүрлі техногендік жүктемеге ұшыраған аумақтарының өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігін бағалаудың кешенді тәсіліне негізделген. Әдіснамалық тұжырымдама геодезиялық, геомеханикалық, геоакпараттық және гидрогеологиялық мониторинг әдістерін бірлесіп қолдануды көздейді. Ұсынылып отырған тәсілдің жекелеген элементтері Ақбақай алтын кенді аймағы мен Балқаш байыту фабрикасының ықпал ету аумағы мысалында сынақтан өткізілді.

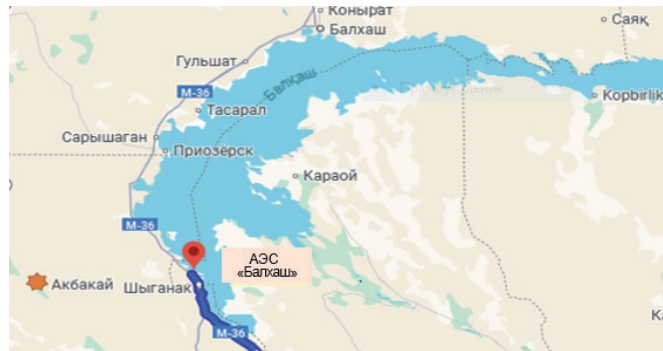
Зерттеу нәтижелері және талдау

Экологиялық жағдай

Қазақстанның экологиялық жүйелері антропогендік әсерлерге төзімділігінің төмендігімен ерекшеленеді. Ең күрделі экологиялық өңірлерге Арал маңы, Семей сынақ полигонының аумағы, Каспий теңізінің жағалауы, сондай-ақ Орталық және Оңтүстік Қазақстанның шөл және шөлейт аймақтары жатады. Қоршаған ортаға ұзақ жылдар бойы техногендік әсердің ықпалы табиғи орта компоненттерінің тұрақты мониторингін қажет ететін экологиялық қауіп деңгейі жоғары аймақтардың қалыптасуына алып келді. Осыған байланысты табиғи экожүйелердің жайкүйін бағалауға және экологиялық мониторинг әдістерін әзірлеуге бағытталған зерттеулердің маңызы ерекше артып отыр.

Қазақстанның стратегиялық маңызы бар табиғи нысандарының бірі – Балқаш көлі (2-сурет). Ол – елдегі ең

ірі ағынсыз ішкі көл және Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы қуаң аймақтарды су ресурстарымен қамтамасыз ететін маңызды су айдыны. Көлдің бірегейлігі оның екі бөліктен тұратын гидрологиялық құрылымымен сипатталады: көлдің батыс бөлігі Іле өзенінің суымен қоректенетіндіктен тұщы су болып табылады, ал шығыс бөлігі бассейндер арасындағы су алмасудың шектеулі болуына байланысты минералдану деңгейінің жоғарылығымен ерекшеленеді. Көлдің гидрологиялық режимін сақтауда табиғи қоры 255,3 м³/с деп бағаланатын жер асты сулары маңызды рөл атқарады [7].



Сурет 2. Балқаш көлінің айналасында орналасқан өнеркәсіптік нысандары.

Figure 2. Location of Industrial Facilities Around Lake Balkhash.

Рис. 2. Расположение промышленных объектов вокруг озера Балхаш.

Соңғы онжылдықтарда Балқаш көлінің экологиялық жағдайы ғылыми қауымдастықтың елеулі алаңдаушылығын туғызуда. Су айдынының гидрологиялық режиміне 1970-жылдары салынған және пайдалануға берілген Қапшағай су қоймасы айтарлықтай әсер етті. Іле өзенінің ағынының азаюы көлге келетін су көлемінің төмендеуіне, су деңгейінің кемуіне және табиғи су теңгерімінің бұзылуына әкелді. Бұл үдерістердің одан әрі жалғасуы Арал теңізі бассейнінде орын алған экологиялық зардаптарға ұқсас жағымсыз салдарға алып келуі мүмкін. Сонымен қатар, көл экожүйесіне оның су жинау алабында орналасқан тау-кен металлургия кешені кәсіпорындарының өндірістік қызметі де елеулі антропогендік жүктеме түсіруде.

Осыған байланысты Арал теңізі экологиялық апатының салдарларына ұқсас қолайсыз үдерістердің даму қаупі артып келеді.

Экологиялық тұрғыдан аса қауіпті нысандардың қатарына тау-кен металлургия кәсіпорындары жатады. Олардың қызметі көп мөлшерде өндірістік қалдықтардың түзілуімен және қоршаған ортаның ауыр металдармен ластануымен қатар жүреді. Ауыр металдар жоғары уыттылығына, тірі ағзаларда биожинақталу қабілетіне және қоршаған ортада ұзақ уақыт сақталуына байланысты ең қауіпті ластаушы заттардың қатарына жатады [8].

Зерттелетін аумақ Балқаш тау-кен металлургия комбинаты (БТМК) мен оның байыту фабрикасының ықпал ету аймағында орналасқан. Бұл кәсіпорындардың қызметі өңірдің су ресурстарына елеулі техногендік әсерін тигізу-

де. Балқаш байыту фабрикасының қалдық сақтау қоймасы Балқаш көлінің солтүстік-батыс жағалауында, Торанғалық шығанағына тікелей жақын жерде орналасқан және 1937 жылдан бері пайдаланылып келеді. Пайдаланудың бастапқы кезеңінде технологиялық ағын сулар тікелей Торанғалық шығанағының акваториясына ағызылған. Қазіргі уақытта жинақталған қалдықтардың жалпы көлемі 428 млн тоннадан асады, бұл жерүсті және жерасты суларының ауыр металдармен ластану қаупін арттырады (3-сурет).

Балқаш байыту фабрикасының қалдық сақтау қоймасы – байыту қалдықтарын гидравликалық әдіспен төгу арқылы қалыптасқан жыра-сай түріндегі үйіндісі болып табылады. Оның ауданы шамамен 18,8 км², ал оған іргелес орналасқан қалдық суларын жинақтаушы тоғанның ауданы 14,03 км² құрайды. Қалдық сақтау қоймаларының дренаждық жүйесі сүзінді суларды жинау және бұрып әкетуді қамтамасыз ететін екі дренаждық канал мен сорғы станцияларынан тұрады. Ұзындығы 8600 м дренаждық арна қалдық сақтау қоймасының оңтүстік және буландыру тоғанының бойымен жүргізілген (3-суретте дренаждық арна қызыл сызықпен белгіленген).



Сурет 3. Балқаш байыту фабрикасының (ББФ) орналасуының шолу-картасы.

Figure 3. Overview map showing the location of the Balkhash Concentrator Plant (BCP).

Рис. 3. Обзорная карта расположения Балхашской обогатительной фабрики (БОФ).

Гидрогеологиялық ортаның жай-күйін бақылау дренаждық ұңғымалар арқылы жүргізіледі. «Су ресурстарын ұтымды пайдалану және қорғау, оның ішінде Балқаш көлі» жобалық бағдарламасын іске асыру мақсатында 2014–2025 жылдар аралығында «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС-нің қолдауымен бірқатар ғылыми жобалар жүзеге асырылуда. Жерасты суларының сапасын бақылау гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық көрсеткіштерді аспаптық әдістермен тоқсан сайын дренаждық ұңғымалар арқылы өлшеу жолымен жүргізіледі. Алайда қолданыстағы бақылау әдістері су ресурстарының ластануын жедел анықтауға мүмкіндік бермейді.

Қалдық сақтау қоймасына жіберілетін байыту қалдықтарының сұйық фазасындағы химиялық компоненттердің концентрациясы мен *минералдану дәрежесіне* талдау жүргізілді. Мыс, хром, мырыш және мышьяк сияқты ме-

талдардың мөлшері рұқсат етілген шекті концентрациялар шегінде болғанымен, қалдық сақтау қоймасының санитариялық-қорғау аймағындағы жерасты суларындағы олардың мөлшерінен жоғары екені анықталды [8].

Міне осындай жағдайда, әр тоқсан сайын емес, жүйелі түрде үздіксіз мониторинг жүйесін енгізу экологиялық тәуекелдерді уақтылы бағалауға, табиғатты қорғау шараларын тиімді іске асыруға және Балқаш көлінің су ресурстарын сақтауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Жерасты суларының жай-күйін бақылау тау-кен өндіру және металлургия кәсіпорындарының, қалдық сақтау қоймаларының және өндірістік қалдықтар полигондарының экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Мониторингтің дәстүрлі әдістері сынамаларды мерзімді түрде алып, зертханалық талдау жүргізуге негізделген, сондықтан олар авариялық ластану жағдайларын дер кезінде анықтауға және гидрогеохимиялық көрсеткіштердің өзгеру динамикасын үздіксіз бақылауға мүмкіндік бермейді.

Осыған орай, Балқаш өңірінің жерасты суларындағы ауыр металдардың көші-қон үдерістерін жедел бақылау әдістерінің жеткіліксіздігі сымсыз байланыс технологиялары негізінде қашықтан мониторинг жүргізу жүйесін әзірлеу қажеттілігін айқындайды.

Заттар интернеті (IoT) технологияларының қарқынды дамуына байланысты нақты уақыт режимінде деректерді үздіксіз жинау мен беруді қамтамасыз ететін қашықтан автоматтандырылған мониторинг жүргізу әдісі ұсынылды.

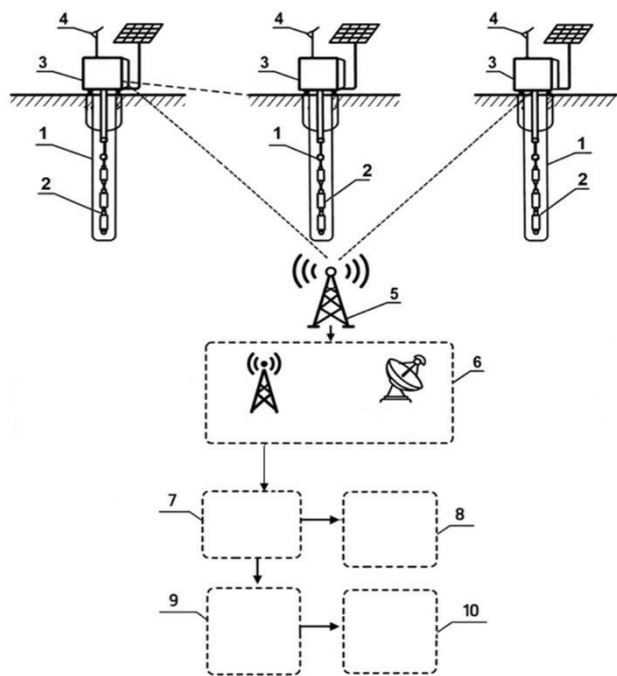
Ластануды оқшаулаудың ең тиімді инженерлік шешімдерінің бірі – қолданыстағы дренаждық арна мен Балқаш көлі арасындағы аймақта түпкі тау жыныстарына дейін қосымша дренаждық ұңғымалар бұрғылау және үздіксіз қадағалап отыру [9].

Жерасты суларының қашықтан мониторинг жүргізу әдісі

Балқаш өңірінің жерасты суларына экологиялық бақылаудың тиімділігін арттыру мақсатында *Satbayev University* ғалымдары сымсыз байланыс технологиялары негізінде жерасты суларының ластануын қашықтан мониторингтеу әдісін әзірледі. Ұсынылған жүйе қалдық сақтау қоймалары мен өзге де ықтимал ластану көздерінің әсер ету аймағында орналасқан бақылау ұңғымаларындағы гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық көрсеткіштерді үздіксіз бақылауға арналған.

Ұсынылған әдісті енгізу жерасты суларының ластану ошақтарын ерте кезеңде анықтауға, мониторингтің жеделдігі мен дәлдігін арттыруға, экологиялық бақылаудың еңбек сыйымдылығын төмендетуге және Балқаш өңірінің су ресурстарының экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді (4-сурет).

Әдіс автономды өлшеу тораптарын пайдалануға негізделген. Олардың құрамына көппараметрлі батырмалы зондтар, деректерді жинау және өңдеу контроллерлері, LoRaWAN *стандартының сымсыз байланыс модульдері және автономды қоректендіру көздері* кіреді. Мониторинг барысында жерасты суларының деңгейі, температурасы, рН көрсеткіші, электрөткізгіштігі және ластанушы заттардың концентрациясы автоматты түрде өлшенеді.



Сурет 4. Жерасты суларының ластануын қашықтан бақылаудың тәсілі: 1 – бақылау ұңғымалары; 2 – батырмалы көппараметрлі зондтар; 3 – деректерді жинау және өңдеу контроллерлері; 4 – сымсыз байланыс модульдері; 5 – базалық станция; 6 – деректерді беру коммуникациялық модулі; 7 – деректерді өңдеу сервері; 8 – деректерді талдаудың бағдарламалық модулі; 9 – пайдаланушы интерфейсі; 10 – автоматты хабарландыру жүйесі.

Figure 4. Method for Remote Monitoring of Groundwater Contamination: 1 – observation wells; 2 – submersible multiparameter probes; 3 – data acquisition and processing controllers; 4 – wireless communication modules; 5 – base station; 6 – data transmission communication module; 7 – data processing server; 8 – data analysis software module; 9 – user interface; 10 – automatic notification system.

Рис. 4. Способ дистанционного мониторинга загрязнения подземных вод: 1 – наблюдательные скважины; 2 – погружные многопараметрические зонды; 3 – контроллеры сбора и обработки данных; 4 – модули беспроводной связи; 5 – базовая станция; 6 – коммуникационный модуль передачи данных; 7 – сервер обработки данных; 8 – программный модуль анализа данных; 9 – пользовательский интерфейс; 10 – система автоматического оповещения.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Brindha K., Schneider M. Урбанизацияның жер асты суларының сапасына әсері: тұрақты басқаруға шолу // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Т. 26. – Б. 22368–22394 (ағылшын тілінде)
2. Varol M., Şen B. Түркияның жоғарғы Тигр Өзенінің жер үсті сулары мен шөгінділеріндегі қоректік заттар мен ауыр металдардың ластануын бағалау // *Catena*. – 2021. – Т. 96. – 104921 (ағылшын тілінде)
3. Barinova S., Krupa E., Romanova S. Планктондық балдырлардың Іле-Балқаш бассейніндегі су қоймаларының экологиялық жағдайын бағалаудағы рөлі (Қазақстан) // *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. – 2018. – Т. 20. – № 2. – Б. 1–14 (ағылшын тілінде)

Өлшеу нәтижелері контроллерлерде алдын ала өңделіп, **LoRaWAN** желісі арқылы базалық станцияға жеткізіледі. Базалық станция көптеген бақылау ұңғымаларынан 10–15 км радиустағы ақпаратты қабылдап, оны GSM, 4G, Ethernet немесе спутниктік байланыс арналары арқылы орталық серверге жібереді. Серверде деректер жинақталып, сақталады, өңделеді, нормативтік және фондық мәндермен салыстырылады, сондай-ақ графиктер, кестелер және картографиялық материалдар түрінде визуализацияланады [10, 11].

Жүйенің маңызды ерекшелігі – нақты уақыт режимінде үздіксіз мониторинг жүргізу және бақыланатын көрсеткіштердің шекті рұқсат етілген мәндерден ауытқуы анықталған жағдайда пайдаланушыларға автоматты түрде ескерту хабарламаларын (электрондық пошта, SMS немесе бағдарламалық интерфейс арқылы) жіберу мүмкіндігі.

LoRaWAN технологиясын пайдалану энергия шығынын азайтып, ақпаратты алыс қашықтыққа сенімді жеткізуді қамтамасыз етеді. Техникалық нәтижесі жерасты суларының ластануын мониторингтеу дәлдігі мен жеделдігін арттыруға, экологиялық бақылаудың еңбек сыйымдылығын төмендетуге, деректерді берудің сенімділігін күшейтуге және бақыланатын объектілердің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған.

Қорытынды

1. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде жерасты суларының ластануын төмендетуге бағытталған инженерлік шешімдер ұсынылып, өндіріске енгізілді. Атап айтқанда, қолданыстағы дренаждық канал мен Балқаш көлі аралығында түпкі тау жыныстарына дейін қосымша дренаждық ұңғымалар бұрғыланып, ластаушы заттардың таралуын шектеу қамтамасыз етілді.

2. LoRaWAN сымсыз байланыс технологиясына негізделген жерасты суларының қашықтан мониторингтеу жүйесі әзірленді. Ұсынылған жүйе гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде үздіксіз бақылауға, ақпаратты автоматты түрде өңдеуге және экологиялық қауіпті жағдайлар туралы жедел хабарлауға мүмкіндік береді.

3. Болжамдық бағалау бойынша, қабылданған шараларды іске асыру нәтижесінде қалдық сақтау қоймасынан таралатын ластаушы заттардың Балқаш көліне және жерасты суларының негізгі су көтергіш горизонтына жету қаупі едәуір төмендейді. Бұл өңірдің су ресурстарының экологиялық қауіпсіздігін арттыруға және өндірістік объектілердің қоршаған ортаға әсерін тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

4. Жирков В. Балқаш бассейнінің жерасты суларын мониторингтеу. – Қарағанды: «Биосфера Қазақстан» ЖШС, 2019 (орыс тілінде)
5. Әлімбаев Д. Ө., Омарова Б., Төлеубаева С., Камзаев Б., Айпов Н., Мәжитова З. Қазақстандағы су ресурстарының экологиялық мәселелері // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Т. 244. – 01004 (орыс тілінде)
6. Қазақстан Республикасының гидрогеологиялық карталар атласы / В. А. Смоляр, Л. Ю. Трушель, О. Л. Мирошниченко және т. б.; бас ред. М. К. Абсаметов. – Алматы: «У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, 2022. – 188 б. (қазақ тілінде)
7. Смоляр В. А., Буров Б. В., Мұстафаев С. Т. Қазақстанның жерасты сулары: қамтамасыз етілуі және пайдаланылуы. – Қарағанды: «Арно» ЖШС, 2012. – 402 б. (орыс тілінде)
8. Байтурбай О., Әуелхан Е. С., Нұрпейісова М. Б. Су ресурстарының ластануы – Қазақстандағы табиғатты ұтымды пайдаланудың басты мәселесі // «Молодой ученый» халықаралық журналы. – 2026. – № 10.1 (613.1). С. 12–15 (қазақ тілінде)
9. «Жасыл Қазақстан» ұлттық жобасы: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы 12 қазандағы № 731 қаулысы (қазақ және орыс тілдерінде)
10. Қазақстан Республикасы патентіне өтінім № 2026-46515. Жерасты суларының ластануын қашықтан мониторингтеу тәсілі / Нұрпейісова М. Б., Әуелхан Е. С., Байтурбай О., Нукарбекова Ж. М. – 2026 (қазақ тілінде)
11. Балқаш байыту фабрикасының (ББФ) қалдықтарды жинақтау цехының қалдық қоймасындағы № 1 дренаждық арнаны тік дренаж құрылғысымен қайта жаңғырту туралы есеп. – Қарағанды: «Биосфера Қазақстан» F3O ЖШС, 2016. – 185 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Brindha K., Schneider M. Impact of Urbanization on Groundwater Quality: A Review toward Sustainable Management // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26. – P. 22368–22394 (in English)
2. Varol M., Şen B. Assessment of Nutrient and Heavy Metal Contamination in Surface Water and Sediments of the Upper Tigris River // *Catena*. – 2021. – Vol. 196. – Article 104921 (in English)
3. Barinova, S., Krupa, E., & Romanova, S., 2018. The role of planktonic algae in the ecological assessment of storage-reservoirs of the Ile-Balkhash basin (Kazakhstan) // *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. – 2018. – No. 2. – P. 1–14 (in English)
4. Zhirkov V. Monitoring podzemnykh vod Balkhashskogo basseina [Groundwater Monitoring of the Balkhash Basin]. – Karaganda: Biosfera Kazakhstan LLP, 2019 (in Russian)
5. Alimbaev D. O., Omarova B., Toleubayeva S., Kamzaev B., Aipov N., Mazhitova Z. Ekologicheskie problemy vodnykh resursov Kazakhstana [Environmental Problems of Water Resources in Kazakhstan] // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 244. – Article 01004 (in Russian)
6. Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan / V. A. Smolyar, L. Yu. Trushel, O. L. Miroshnichenko [et al.]; edited by M. K. Absametov. – Almaty: U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology LLP, 2022. – 188 p. (in Kazakh)
7. Smolyar V. A., Burov B. V., Mustafayev S. T. Podzemnye vody Kazakhstana: obespechennost i ispolzovanie [Groundwater of Kazakhstan: Availability and Use]. – Karaganda: Arno LLP, 2012. – 402 p. (in Russian)
8. Baiturbay O., Auelkhan E. S., Nurpeissova M. B. Pollution of Water Resources as One of the Main Problems of Rational Nature Management in Kazakhstan // *International Journal «Young Scientist»*. – 2026. – No. 10.1 (613.1). – P. 12–15 (in Kazakh)
9. Natsionalnyi projekt «Zhasyl Kazakhstan» [National Project «Zhasyl Kazakhstan»]. Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan No. 731 ot 12 oktiabria 2021 goda [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 731 dated October 12, 2021] (in Kazakh and Russian)
10. Application for a Patent of the Republic of Kazakhstan No. 2026-46515. Method for Remote Monitoring of Groundwater Pollution / M. B. Nurpeissova, E. S. Auelkhan, O. Baiturbay, Zh. M. Nukarbekova. – 2026 (in Kazakh)
11. Otchet o rekonstruktsii drenazhnogo kanala No. 1 khvostokhranilishcha tsekha skladirovaniya otkhodov Balkhashskoi obogatitel'noi fabriki (BOF) s ustroystvom vertikal'nogo drenazha [Report on the Reconstruction of Drainage Channel No. 1 of the Tailings Storage Facility of the Balkhash Ore Processing Plant with the Installation of a Vertical Drainage System]. – Karaganda: NITs «Biosfera Kazakhstan» LLP, 2016. – 185 p. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Brindha K., Schneider M. Влияние урбанизации на качество подземных вод: обзор на пути к устойчивому управлению. *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Т. 26. – С. 22368–22394 (на английском языке)

2. Varol M., Şen B. Оценка загрязнения поверхностных вод и донных отложений в верховьях реки Тигр биогенными веществами и тяжелыми металлами // *Catena*. – 2021. – Т. 196. – Ст. 104921 (на английском языке)
3. Barinova S., Крива Е., Romanova S. Роль планктонных водорослей в экологической оценке водохранилищ Или-Балхашского бассейна (Казахстан) // *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. – 2018. – Т. 20. – № 2. – С. 1–14 (на английском языке)
4. Жирков В. Мониторинг подземных вод Балхашского бассейна. – Караганда: ТОО «Биосфера Казахстан», 2019 (на русском языке)
5. Алимбаев Д. Ø., Омарова Б., Толеубаева С., Камзаев Б., Айпов Н., Мажитова З. Экологические проблемы водных ресурсов Казахстана // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Т. 244. – Ст. 01004 (на русском языке)
6. Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан / В. А. Смоляр, Л. Ю. Трушель, О. Л. Мирошниченко [и др.]; под общ. ред. М. К. Абсаметова. – Алматы: ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У. М. Ахмедсафина», 2022. – 188 с. (на казахском языке)
7. Смоляр В. А., Буров Б. В., Мустафаев С. Т. Подземные воды Казахстана: обеспеченность и использование. – Караганда: ТОО «Арно», 2012. – 402 с. (на русском языке)
8. Байтурбай О., Ауелхан Е. С., Нурпеисова М. Б. Загрязнение водных ресурсов – одна из основных проблем рационального природопользования в Казахстане // *Международный журнал «Молодой ученый»*. – 2026. – № 10.1 (613.1). – С. 12–15 (на казахском языке)
9. Национальный проект «Зеленый Казахстан»: постановление Правительства Республики Казахстан от 12 октября 2021 г. № 731 (на казахском и русском языках)
10. Заявка на патент Республики Казахстан № 2026-46515. Способ дистанционного мониторинга загрязнения подземных вод / Нурпеисова М. Б., Ауелхан Е. С., Байтурбай О., Нукарбекова Ж. М. – 2026 (на казахском языке)
11. Отчет о реконструкции дренажного канала № 1 хвостохранилища цеха складирования отходов Балхашской обогатительной фабрики (БОФ) с устройством вертикального дренажа. – Караганда: ТОО НИЦ «Биосфера Казахстан», 2016. – 185 с. (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Байтурбай О., докторант, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан), o.baiturbay@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-7654-2610>

Нұрпейісова М. Б., т. ф. д., «Маркшейдерия және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан), marzhan-nurpeisova@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>

Салқынов А. Т., Ph.D, «АлГеоРитм» ӨЖ бас директоры (Қарағанды қ., Қазақстан), arnat@algeoritm.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8177-1293>
Сәгин Дж., Ph.D, «Геоматика инженериясы» кафедрасының профессоры, Ақпараттық технологиялар және инженерия мектебі (SITE), Батыс Мичиган университеті (Мичиган, АҚШ), jay.sagin@wmich.edu; <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>

Information about the authors:

Baiturbay O., Doctoral Student, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Nurpeisova M. B., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Salkynov A. T., Ph.D, General Director of the AlGeoRhythm Research and Production Complex (Karaganda, Kazakhstan)

Sagin J., Ph.D, Professor, Department of Geomatics Engineering, School of Information Technology and Engineering (SITE), Western Michigan University (Michigan, USA)

Сведения об авторах:

Байтурбай О., докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Нурпеисова М. Б., доктор техн. наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Салқынов А. Т., Ph.D, генеральный директор Научно-производственного комплекса «АлГеоРитм» (г. Караганда, Казахстан)

Сәгин Дж., Ph.D, профессор кафедры «Геоматическая инженерия», Школа информационных технологий и инженерии (SITE), Западный Мичиганский университет (Мичиган, США)

Инжиниринг, производительность и надежность для горнодобывающей промышленности

Изнашиваемые части, разработанные для работы в тяжелых условиях эксплуатации процессов дробления и измельчения. Предназначены для увеличения срока службы и оптимизации совокупной стоимости владения футеровкой мельниц, мелющих тел и изнашиваемых частей для дробилок, повышения надежности и сокращения времени простоя.



**Высокая
производительность
в тяжелых условиях
эксплуатации**



**Сокращение
критического
времени простоя**



**Оптимизированная
совокупная стоимость
владения**

ME Elecmetal
Тел: +7 914 880 4545
+7 777 247 0787
+1 778 875 7525
Эл.Почта: mongolia@me-elecmetal.com

Код МРНТИ 53.37.37:61.13.19

B. T. Altaibayev¹, M. K. Kylyshkanov¹, *K. S. Togizov²
¹Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan),
²Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

INVESTIGATION OF THE ACID DESILICATION PROCESS OF INDUSTRIALLY SPENT ANION EXCHANGE RESIN

Abstract. Silicon fouling of strong-base anion-exchange resins reduces the efficiency of uranium recovery from pregnant solutions generated during in situ leaching. This study examined the acid desilication of industrially spent resin using HF and HF-HNO_3 solutions. The effects of reagent concentration, solid-to-liquid ratio, and treatment time were evaluated. Increasing the HF concentration and the solid-to-liquid ratio enhanced silicon removal. The highest desilication efficiency, 65.5%, was achieved with 2.0 M HNO_3 + 0.5 M HF at an $S:L$ ratio of 1:5, reducing the residual Si content to 3.81 wt.%. Most silicon was removed within the first 30–90 min, after which the rate decreased due to intraparticle diffusion limitations. Particle-size analysis showed that the resin beads largely retained their integrity after treatment. The HF-HNO_3 system therefore offers a practical approach for regenerating silicon-fouled anion-exchange resins used in uranium hydrometallurgy.

Key words: uranium, underground leaching, sorbent, silicon, desilication, acid treatment, sorbent regeneration.

Өндірісте пайдаланылған анионоалмастырғыш шайырдың қышқылды десиликация процесін зерттеу

Аннотация. Кремний қосылыстарымен ластанған күшті негізді анионоалмастырғыш шайырлар жерасты шаймалау өнімді ерітінділерінен уранды сорбциялық бөліп алу тиімділігін төмендетеді. Жұмыста өнеркәсіптік пайдаланылған шайырды HF және HF-HNO_3 ерітінділерімен қышқылды десиликациялау зерттелді. Реагенттер концентрациясының, К:С қатынасының және өңдеу ұзақтығының әсері бағаланды. HF концентрациясы мен К:С қатынасының артуы кремнийдің бөліну дәрежесін жоғарылатты. Ең жоғары десиликация дәрежесі 65,5% $2,0 \text{ M HNO}_3$ + $0,5 \text{ M HF}$ ерітіндісінде және К:С = 1:5 кезінде алынды, ал Si қалдық мөлшері 3,81 мас.% дейін төмендеді. Кремнийдің негізгі бөлігі алғашқы 30–90 мин ішінде жойылды, кейін түйіршік ішіндегі диффузиялық шектеулерге байланысты процесс жылдамдығы төмендеді. Гранулометриялық талдау шайыр түйіршіктерінің тұтастығы сақталғанын көрсетті. HF-HNO_3 жүйесін уран гидрометаллургиясында кремниймен ластанған анионоалмастырғыш шайырларды регенерациялау үшін қолдануға болады.

Түйінді сөздер: уран, жерасты шаймалау, сорбент, кремний, десиликация, қышқылды өңдеу, сорбенттерді регенерациялау.

Исследование процесса кислотной десиликации промышленно отработанной анионообменной смолы

Аннотация. Загрязнение сильноосновных анионообменных смол соединениями кремния снижает эффективность сорбционного извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания. Исследована кислотная десиликация промышленно отработанной смолы растворами HF и HF-HNO_3 . Оценено влияние концентрации реагентов, соотношения Т:Ж и продолжительности обработки. Увеличение концентрации HF и соотношения Т:Ж повышало степень удаления кремния. Максимальная десиликация 65,5% достигнута при $2,0 \text{ M HNO}_3$ + $0,5 \text{ M HF}$ и Т:Ж = 1:5; остаточное содержание Si составило 3,81 мас. %. Основное удаление кремния происходило в первые 30–90 мин, после чего скорость снижалась из-за внутригранульных диффузионных ограничений. Гранулометрический анализ подтвердил сохранение целостности гранул. Система HF-HNO_3 может использоваться для регенерации кремнезагрязненных анионообменных смол в урановой гидрометаллургии.

Ключевые слова: уран, подземное выщелачивание, сорбент, кремний, десиликация, кислотная обработка, регенерация сорбентов.

Introduction

Global demand for natural uranium is expected to rise as nuclear power capacity expands. Under the WNA scenarios, uranium requirements could reach about 130 ktU/year by 2040 in the base-rate scenario and around 183 ktU/year in the high-rate scenario. The same analysis indicates that, with rapid growth of nuclear power, uranium production could peak around the middle of this century, increasing the risk of a widening gap between reactor requirements and primary uranium supply [1].

Amid growing uranium demand, ISL technology has become dominant in the global mining structure, accounting for more than half of global uranium production [2]. ISL's widespread use is due to its relatively low capital intensity, reduced environmental impact, and high economic efficiency compared to traditional open-pit and underground mining methods [3]. In sulfuric acid ISL processes, widely used at sandstone uranium ore deposits in Kazakhstan and other countries, uranium is transferred to productive solutions primarily in the form of anionic uranyl sulfate complexes [4].

In industrial practice, uranium extraction from productive ISL solutions is typically accomplished by ion-exchange sorption using strongly basic anion-exchange resins that exhibit high selectivity for uranyl sulfate complexes, stability in acidic environments, and suitability for continuous column operation. The efficiency of the sorption-desorption process is largely determined by the preservation of the sorption and mechanical properties of the ion-exchange material under long-term cyclic operation. One of the main factors limiting the operational stability of anion-exchange resins in uranium

ISR systems is their contamination with silicon compounds entering the productive solutions as a result of the sulfuric acid decomposition of silicate and aluminosilicate host rocks. Silicon compounds present in the solution, in the form of silicic acid and reactive silicate particles, are capable of being sorbed onto the functional groups of the resin, followed by intrapore polycondensation and the formation of polymerized siloxane structures within the polymer matrix. This process leads to the blocking of active ion-exchange centers, deterioration of mass transfer, a decrease in the uranium sorption capacity, and a gradual degradation of the mechanical strength of the sorbent granules [5–8]. According to industrial and laboratory studies, the silicon content in spent uranium anion exchange resins can reach 12–17 wt. % or more, which is accompanied by a significant decrease in the technological efficiency of the sorption process [8]. In this regard, the regeneration of silicon-contaminated sorbents is one of the key tasks in ensuring the stability and cost-effectiveness of ion-exchange uranium extraction.

The most common industrial method for desiliconizing anion-exchange resins is alkaline treatment with sodium hydroxide solutions, based on the hydrolytic destruction of siloxane bonds and the conversion of silicon into soluble silicate forms [6]. However, numerous studies show that the effectiveness of alkaline desilication is limited in the presence of highly polymerized silicon structures, while an increase in the alkali concentration and more stringent processing conditions lead to the degradation of the polymer matrix and functional groups of strongly basic anion exchange resins [8–10]. Despite the significant practical significance of the problem, the development

of alternative methods for the deep regeneration of silica-contaminated uranium sorbents remains understudied. In particular, the number of studies devoted to the use of acidic methods for processing silica-contaminated anion-exchange resins is limited, and the impact of acid treatment on the degree of silica removal, the state of the polymer structure, and the restoration of sorbent performance requires further systematic study.

Therefore, the objective of this study is to investigate the acidic reprocessing of anion-exchange resins contaminated with silica compounds during the processing of uranium ISL (in-situ leaching) productive solutions and to evaluate the effectiveness of this approach for desiliconizing sorbents and restoring their performance properties.

Materials and Methods

Materials

The object of the study was an industrially spent strongly basic anion exchange resin applied in the extraction of uranium from productive solutions of in-situ leaching. The silicon content in the studied industrially spent sorbent was 11.04 wt. %. According to the results of granulometric analysis (Table 1), the studied sorbent was characterized by the predominance of granules of the medium fraction. Solutions of hydrofluoric acid HF and $HF-HNO_3$ mixtures of chemically pure grade were used as reagents. The choice of HF solutions and $HF-HNO_3$ mixtures as desilicate reagents is due to the ability of hydrofluoric acid to interact with silica to form soluble fluorosilicate compounds, whereas nitric acid promotes the oxidation of silicon compounds and increases the efficiency of their dissolution, which is consistent with the literature data on the chemical dissolution of silicon in HF/HNO_3 systems [11, 12].

Equipment

The sorbent was processed in a chemically resistant polypropylene flask. Stirring was performed using a magnetic stirrer. After processing, the sorbent was separated by filtration on a laboratory filter.

Desilication Procedure

Desilication was carried out in a static mode with stirring at room temperature. Treatment was carried out at a solid:liquid ratio of 1:3–1:5, a contact time of 15–180 min, and a sorbent sample weight of 25 g. After treatment, the sorbent was separated by filtration, washed with warm distilled water to a neutral pH, and dried. The filtrate was sent for analysis. All experiments for each point were carried out in at least three independent replicates. The sorbent desilication process flow chart is shown in Figure 1. Additionally, after treatment, a comparative analysis of the sorbent's particle size distribution was

performed to assess possible changes in granule distribution under the influence of desilication solutions.



Figure 1. Scheme of the process of desilication of the sorbent and subsequent filtration.

Сурет 1. Сорбентті десиликациялау процесінің және кейінгі сүзудің сызбанұсқасы.

Рис. 1. Схема проведения процесса десиликации сорбента и последующей фильтрации.

Analytical Methods

The silicon content released into solution after desilication was determined gravimetrically by analyzing the filtrate. Based on the data obtained, the degree of silicon removal from the sorbent was calculated using the formula:

$$R = (C_0 - C) / C_0 \cdot 100 \%,$$

where C_0 is the Si content in the original resin, wt. %;

C is the residual Si content in the resin after treatment, wt. %.

To monitor the effect of reagent treatment, the particle size distribution of the sorbent after desilication was additionally assessed.

Results and Discussion

The results showed that treatment of the anion exchange resin with HF and $HF-HNO_3$ solutions at a solid-to-liquid ratio of $S:L = 1:3$ contributed to a decrease in silicon content within the sorbent structure. As shown in Figure 2, increasing the HF concentration was accompanied by an increase in desilication efficiency. When using $1.0 M HF$, the degree of

Granulometric composition of the industrially spent sorbent

Өндірісте пайдаланылған сорбенттің гранулометриялық құрамы

Гранулометрический состав промышленно отработанного сорбента

Table 1

Кесте 1

Таблица 1

Sieve cell size, mm	2.0	1.8	1.6	1.4	1.25	1.0	0.8	0.63	0.5	0.4	0.315
Fraction content, %	0	1	4	10	35	31	14	3	1	1	0

silicon removal reached 33.2% with a residual *Si* content of 7.38%, whereas increasing the *HF* concentration to 2.0 M enhanced the silicon removal degree to 46.9% and reduced the residual *Si* content to 5.86%. The obtained results are associated with silica dissolution and the formation of soluble fluoro-silicate compounds.

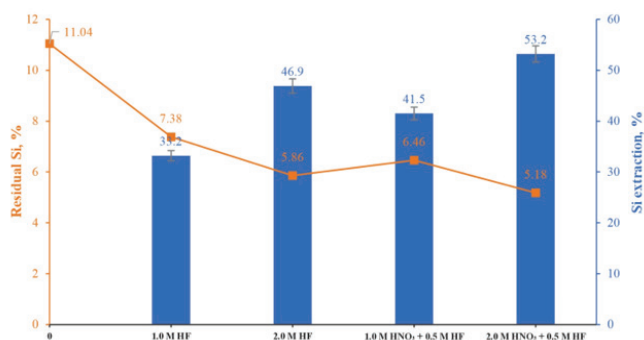


Figure 2. Effect of HF concentration and HF–HNO₃ systems on the degree of silicon removal and residual Si content in the sorbent.

Сурет 2. HF концентрациясы мен HF–HNO₃ жүйелерінің кремнийді жою дәрежесіне және сорбенттегі қалдық Si мөлшеріне әсері.

Рис. 2. Влияние концентрации HF и систем HF–HNO₃ на степень удаления кремния и остаточное содержание Si в сорбенте.

Higher desilication rates were observed using combined HF–HNO₃ solutions. For the 1.0 M HNO₃ + 0.5 M HF system, the silicon extraction rate was 41.5% with a residual Si content of 6.46%. Increasing the HNO₃ concentration to 2.0 M while maintaining a constant HF concentration (0.5 M) increased the silicon removal rate to 53.2% and reduced the residual Si content to 5.18%. This increased efficiency is likely due to the combined action of the acidic environment and fluoride ions, which ensure more intensive destruction of silicate deposits in the sorbent structure. The use of more concentrated acidic systems was also not considered to minimize potential degradation of the ion-exchange resin structure during processing.

As shown in Figure 3, increasing the solid:liquid ratio has a positive effect on desilication efficiency. For a 1.0 M HNO₃ + 0.5 M HF solution, an increase in the S:L ratio from 1:3 to 1:5 was accompanied by a decrease in the residual Si content from 6.46 to 5.29% and an increase in the degree of silicon extraction from 41.5 to 52.1%. A similar pattern was observed for a more concentrated system of 2.0 M HNO₃ + 0.5 M HF, where an increase in the S:L ratio from 1:3 to 1:5 led to a decrease in the residual Si content from 5.18 to 3.81% and an increase in the degree of silicon extraction from 53.2 to 65.5%.

The obtained results indicate that increasing the solution volume relative to the sorbent mass facilitates more complete interaction of the reagent with silicate deposits in the resin structure. This is likely due to improved mass transfer conditions, increased availability of the active reagent, and reduced local saturation of the solution with silica dissolution products.

As can be seen in Figure 4, the desilication process at a solid:liquid ratio of 1:5 is characterized by uneven silicon re-

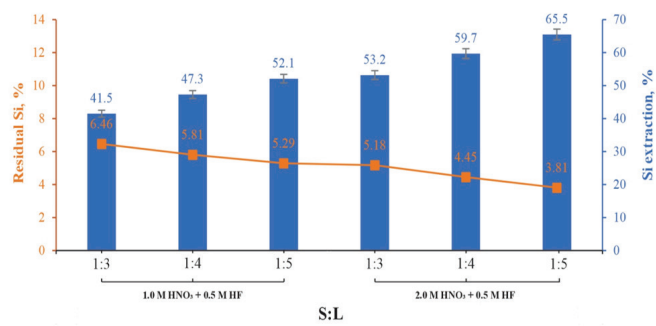


Figure 3. The influence of solid:liquid ratio on the efficiency of sorbent desilication.

Сурет 3. Қатты:сұйық қатынасының сорбентті десиликациялау тиімділігіне әсері.

Рис. 3. Влияние соотношения твердое:жидкое на эффективность десиликации сорбента.

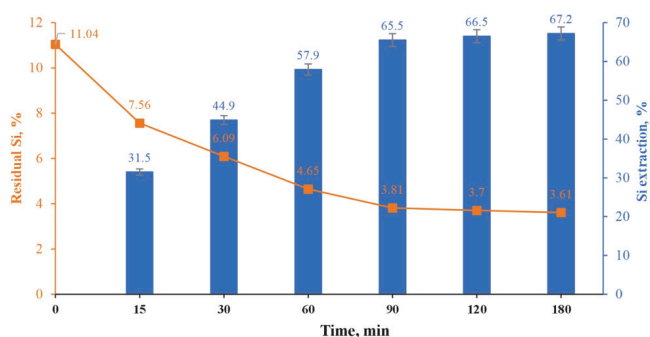


Figure 4. Effect of treatment time on sorbent desilication.

Сурет 4. Өңдеу уақытының сорбентті десиликациялау процесіне әсері.

Рис. 4. Влияние продолжительности обработки на десиликацию сорбента.

moval rates at different stages of processing. At the initial stage of the process, intensive dissolution of silicon compounds is observed: within the first 30 minutes, the silicon extraction rate reaches 44.9%, with the residual Si content decreasing to 6.09%. It is likely during this period that the most accessible and weakly bound silicate deposits localized on the surface and in the subsurface layers of the sorbent are removed.

In the 30–90 min interval, the process rate decreases, but desilication continues to proceed quite intensively. By 90 min, silicon extraction reaches 65.5%, and the residual Si content decreases to 3.81%, indicating further dissolution of more stable forms of silica within the resin structure.

A further increase in processing time to 120–180 min does not significantly improve process efficiency: extraction increases only from 65.5 to 67.2%, while the residual Si content changes only slightly – from 3.81 to 3.61%. The obtained results indicate the gradual achievement of a quasi-equilibrium state and the process being limited by internal diffusion of the reagent deep into the sorbent granules.

Thus, the optimal desilication duration is approximately 90–120 min, since this interval achieves maximum silicon removal with minimal increase in processing time. After desilication of the sorbent, a comparative analysis of the particle

Comparative granulometric composition of the sorbent before and after desilication

Table 2

Десиликацияға дейінгі және кейінгі сорбенттің салыстырмалы гранулометриялық құрамы

Кесте 2

Сравнительный гранулометрический состав сорбента до и после десиликации

Таблица 2

Sieve cell size, mm	2.0	1.8	1.6	1.4	1.25	1.0	0.8	0.63	0.5	0.4	0.315
Before desilication, %	0	1	4	10	35	31	14	3	1	1	0
After desilication, %	0	1	4	11	36	28	12.5	5.5	1	1	0

size distribution was performed to assess the effect of reagent treatment on the granule size distribution (Table 2). The appearance of the sorbent before and after desilication is shown in Figure 5.

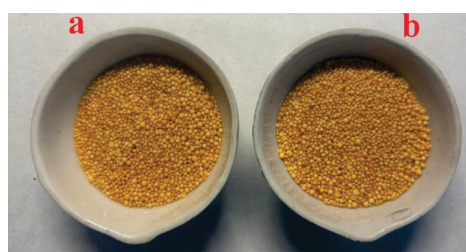


Figure 5. Appearance of the sorbent before (a) and after (b) treatment.

Сурет 5. Өндеуге дейінгі (a) және өндеуден кейінгі (b) сорбенттің сыртқы көрінісі.

Рис. 5. Внешний вид сорбента до (a) и после (b) обработки.

It was established that after processing, no significant change in the granulometric composition was observed, while no noticeable destruction, deformation or change in the color of the sorbent granules was visually detected, which indicates the preservation of the structural integrity of the polymer matrix under the studied desilication conditions. The majority of the sorbent, both before and after desilication, was composed of medium-sized granules, indicating that the material's structural integrity was maintained under the selected processing conditions. Minor changes in the content of individual fractions may be due to mechanical action during mixing and partial surface modification of individual granules during processing.

Conclusion

This study investigated the feasibility of acid desilication of industrially used strongly basic anion exchange resin used for uranium extraction from productive in-situ leaching solutions. Treatment with HF and $HF-HNO_3$ solutions was found to partially remove silicon compounds from the sorbent structure and reduce residual silicon content.

Increasing the HF concentration and increasing the solid:liquid ratio were shown to intensify the desilication process. The highest silicon removal rate was 65.5% using a $2.0 M HNO_3 + 0.5 M HF$ system and a solid:liquid ratio of 1:5, while the residual Si content decreased to 3.81 wt. %.

Kinetic studies showed that the most intense silicon removal occurs during the first 30–90 minutes of treatment, while further increases in process duration are accompanied by a slight increase in the degree of desilication. A reasonable treatment duration is 90–120 minutes. The results of particle size analysis and visual inspection showed no significant granule degradation after acid treatment. Unlike alkaline regeneration methods, which can lead to degradation of the sorbent's polymer matrix, the HF and $HF-HNO_3$ systems ensure silicon removal while maintaining the resin's structural integrity.

These results confirm the potential of HF and $HF-HNO_3$ systems as an alternative method for the partial regeneration of silica-contaminated anion exchange resins used in uranium production.

Acknowledgements

This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713471) «Development of methods for increasing the extraction of uranium from uranium-containing solutions by effectively reducing the content of silicon compounds».

REFERENCES

1. Mirkhusanov U. T., Semenova D. Yu., Kharitonov V. V. Forecasting the cost and volume of uranium mining for different world nuclear energy development scenarios // *Nuclear Energy and Technology*. – 2024. – No. 10 (2). – P. 31–137 (in English)
2. *Uranium 2024: Resources, Production and Demand* / OECD Nuclear Energy Agency, International Atomic Energy Agency. – 2025 (in English)
3. International Atomic Energy Agency. *In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations*. – 2018 (in English)
4. Soldenhoff K. *Uranium IX – Past, Present and Future* // *ALTA 2019 Uranium-REE Conference Proceedings*, 2019. – P. 16–27 (in English)
5. Zhang G. *A study on mechanism of silica fouling of anion exchange resins* // *Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents*. – 1988. – No. 7. – P. 289–292 (in English)

6. *Inhibition of silicic acid elution during the regeneration of strong base anion exchange resin column* / T. Chuuman et al. // *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. – 2019. – No. 92 (4). – P. 869–874 (in English)
7. *Impact of silica on hydrometallurgical and mechanical properties of RIP grade resins for uranium recovery* / V. Yahorava et al. // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2009. – No. 109 (10). – P. 609–619 (in English)
8. *Development of technology for purifying ion exchangers from silicon impurities during processing of uranium-containing productive solutions* / M. K. Kylyshkanov et al. // *Combustion and Plasma Chemistry*. – 2025. – No. 23 (4). – P. 435–446 (in English)
9. *Ritcey G. M. Silica fouling in ion exchange, carbon-in-pulp and solvent extraction circuits* // *Canadian Metallurgical Quarterly*. – 1986. – No. 25 (1). – P. 31–43 (in English)
10. *Intensifikatsiya ionoobmennyykh protsessov iz ekstraktsii urana iz kremniysoderzhashchikh rastvorov i pul'p* [Intensification of ion-exchange processes for uranium extraction from silicon-containing solutions and pulps] T. V. Molchanova et al. *Atomnaya Energiya* [Atomic Energy]. – 2001. – No. 90 (3). – P. 199–203 (in Russian)
11. *Experimental studies on the mechanism of wet chemical etching of silicon in HF/HNO₃ mixtures* / M. Steinert et al. // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2005. – No. 152 (12). – P. C843–C850 (in English)
12. *Reactive species generated during wet chemical etching of silicon in HF/HNO₃ mixtures* / M. Steinert et al. // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2006. – No. 110 (23). – P. 11377–11382 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Mirkhusanov U. T., Semenova D. Yu., Kharitonov V. V. Әлемдік атом энергетикасын дамытудың әртүрлі сценарийлері кезіндегі уран өндіру құны мен көлемін болжау* // *Nuclear Energy and Technology*. – 2024. – № 10 (2). – Б. 131–137 (ағылшын тілінде)
2. *Uranium 2024: ресурстар, өндіріс және сұраныс* / OECD Nuclear Energy Agency, International Atomic Energy Agency. – 2025 (ағылшын тілінде)
3. *International Atomic Energy Agency. Уранды жерасты шаймалау: технологиялық операцияларға шолу.* – 2018 (ағылшын тілінде)
4. *Soldenhoff K. Uranium IX – өткені, бүгіні және болашағы* // *ALTA 2019 Uranium-REE Conference Proceedings, 2019*. – Б. 16–27 (ағылшын тілінде)
5. *Zhang G. Анионалмастырғыш шайырлардың кремнеземмен ластану механизмін зерттеу* // *Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents*. – 1988. – № 7. – Б. 289–292 (ағылшын тілінде)
6. *Күшті негізді анионалмастырғыш шайыр колоннасын регенерациялау кезінде кремний қышқылының шаймалануын тежеу* / T. Chuuman [және т. б.] // *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. – 2019. – № 92 (4). – Б. 869–874 (ағылшын тілінде)
7. *Уранды алу үшін қолданылатын RIP-классты шайырлардың гидрометаллургиялық және механикалық қасиеттеріне кремнезёмнің әсері* / V. Yahorava [және т. б.] // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2009. – № 109 (10). – Б. 609–619 (ағылшын тілінде)
8. *Құрамында ураны бар өнімді ерітінділерді өңдеу кезінде ионалмастырғыштарды кремний қоспаларынан тазарту технологиясын әзірлеу* / M. K. Kylyshkanov [және т. б.] // *Combustion and Plasma Chemistry*. – 2025. – № 23 (4). – Б. 435–446 (ағылшын тілінде)
9. *Ritcey G. M. Ионалмасу, көмір-пульпа және еріткіштік экстракция сұлбаларындағы кремнеземмен ластану* // *Canadian Metallurgical Quarterly*. – 1986. – № 25 (1). – Б. 31–43 (ағылшын тілінде)
10. *Құрамында кремний бар ерітінділер мен пульпалардан уран алудың ионалмасу процестерін қарқындату* / T. V. Molchanova [және т. б.] // *Атомная энергия*. – 2001. – № 90 (3). – Б. 199–203 (орыс тілінде)
11. *HF/HNO₃ қоспаларында кремнийді химиялық өңдеу механизмін эксперименттік зерттеу* / Steinert M. [және т. б.] // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2005. – № 152 (12). – Б. C843–C850 (ағылшын тілінде)
12. *HF/HNO₃ қоспаларында кремнийді химиялық өңдеу кезінде түзілетін белсенді бөлшектер* / M. Steinert [және т. б.] // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2006. – № 110 (23). – Б. 11377–11382 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Mirkhusanov U. T., Semenova D. Yu., Kharitonov V. V. Прогнозирование стоимости и объема добычи урана при различных сценариях развития мировой атомной энергетики* // *Nuclear Energy and Technology*. – 2024. – № 10 (2). – С. 131–137 (на английском языке)

2. *Uranium 2024: ресурсы, производство и спрос / OECD Nuclear Energy Agency, International Atomic Energy Agency. – 2025 (на английском языке)*
3. *International Atomic Energy Agency. Подземное выщелачивание урана: обзор технологических операций. – 2018 (на английском языке)*
4. *Soldenhoff K. Уран IX – прошлое, настоящее и будущее // ALTA 2019 Uranium-REE Conference Proceedings, 2019. – С. 16–27 (на английском языке)*
5. *Zhang G. Исследование механизма загрязнения анионообменных смол кремнеземом // Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents. – 1988. – № 7. – С. 289–292 (на английском языке)*
6. *Подавление выщелачивания кремниевой кислоты при регенерации колонны с сильноосновной анионообменной смолой / T. Chuiman [и др.] // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 2019. – № 92 (4). – С. 869–874 (на английском языке)*
7. *Влияние кремнезема на гидрометаллургические и механические свойства смол RIP-класса для извлечения урана / V. Yahorava [и др.] // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2009. – № 109 (10). – С. 609–619 (на английском языке)*
8. *Разработка технологии очистки ионообменников от примесей кремния при переработке урансодержащих продуктивных растворов / М. К. Kylyshkanov [и др.] // Combustion and Plasma Chemistry. – 2025. – № 23 (4). – С. 435–446 (на английском языке)*
9. *Ritcey G. M. Загрязнение кремнеземом в схемах ионного обмена, уголь-в-пульпе и экстракции растворителем // Canadian Metallurgical Quarterly. – 1986. – № 25 (1). – С. 31–43 (на английском языке)*
10. *Интенсификация ионообменных процессов извлечения урана из кремнийсодержащих растворов и пульп / T. V. Molchanova [и др.] // Атомная энергия. – 2001. – № 90 (3). – С. 199–203 (на русском языке)*
11. *Экспериментальные исследования механизма химического травления кремния в смесях HF/HNO₃ / M. Steinert [и др.] // Journal of The Electrochemical Society. – 2005. – № 152 (12). – С. C843–C850 (на английском языке)*
12. *Активные частицы, образующиеся при химическом травлении кремния в смесях HF/HNO₃ / M. Steinert [и др.] // The Journal of Physical Chemistry B. – 2006. – № 110 (23). – С. 11377–11382 (на английском языке)*

Information about the authors:

Altaibayev B. T., Ph.D, Senior Researcher, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), bagdataitai9@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7405-6854>

Kylyshkanov M. K., Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), kylyshkanov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8304-7124>

Togizov K. S., Ph.D, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), k.togizov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4830-405X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Алтайбаев Б. Т., Ph.D, аға ғылыми қызметкер, Қазақ-Британ техникалық университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Кылышканов М. К., физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ-Британ Техникалық Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Тогизов К. С., Сәтбаев университетінің Ph.D докторы, қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Алтайбаев Б. Т., Ph.D, ст. научный сотрудник, Казахстанско-Британский технический университет (г. Алматы, Казахстан)

Кылышканов М. К., доктор физико-математических наук, профессор, Казахстанско-Британский технический университет (г. Алматы, Казахстан)

Тогизов К. С., Ph.D, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ЗҰЛЫЛЫҚТЫ ҰЛЫҚТАУ – ПАРЫЗ

Қазақтың қасиетті топырағы XX ғасырда талай алып ғалымдарды дүниеге әкелді. Солардың қатарында Қ. И. Сәтбаевпен қаақ ғылымының жаңа дәуірін бастаған, Қазақстан Ұлттық Ғылым академиясының негізін қалаушылардың бірі, көрнекті ғалым, профессор Ақжан Жақсыбекұлы Машановтың алар орны айрықша. Ол Қарқаралыдан басталған өмір жолы қазақ даласын көктей өтіп, Алатаудан асып, әлемдік ғылым кеңістігіне көтерілген тұлғаның мұрасы бүгінде де өзектілігін жоғалтқан жоқ.

XX ғасырда қазақ ғылымының қалыптасуы мен өркендеуіне өлшеусіз үлес қосқан ғалымдар шоғыры қалыптасты. Солардың қатарында Қаныш Имантайұлы Сәтбаевпен бірге Қазақстан ғылымының іргетасын қалауға атсалысқан, Қазақстан Ұлттық ғылым академиясының негізін қалаушылардың бірі, профессор Ақжан Машановтың орны ерекше.

А. Ж. Машановтың ғылыми дүниетанымы геология және тау-кен ісімен ғана шектелген жоқ. Ол тау жыныстары механикасы мен геомеханика ғылымының Қазақстандағы негізін қалаушылардың бірі болып, жер қойнауын зерттеудің жаңа ғылыми бағыттарын дамытуға зор үлес қосты.

Ғалымның ғылыми-педагогикалық қызметі де ерекше тағылымға толы. Ол университеттің «Маркшейдерлік іс» кафедрасын 30 жылдан астам басқарып, мыңнан астам тау-кен инженері-маркшейдерлердің, ондаған ғылым кандидаттары мен докторларының қалыптасуына жол ашты. Оның бастамасымен тау жыныстары механикасы бойынша бүкілодақтық ғылыми-техникалық конференциялар ұйымдастырылып, Қазақстан геомеханика мектебінің жетістіктері кеңінен танылды. Ғалымның «Жер қойнауының үйлесімі» еңбегінің Германияда неміс тілінде жарық көруі оның ғылыми мектебінің халықаралық деңгейде мойындалғанын көрсетті.

Ақжан әл-Машани ғылымның қос қанатындай екі үлкен бағытты қатар алып жүрді. Бірі – геомеханика ғылымының терең сырларын зерттеу болса, екіншісі – Шығыстың ұлы ойшылы Әбу Насыр әл-Фарабидің ғылыми мұрасын туған халқымен қайта қауыштыру еді. Оның әл-Фараби мұрасын зерттеудегі қажырлы еңбегі қазақ руханияты мен ғылымының тарихында айрықша орын алады.

Ұлы ұстаздың 120 жылдық мерейтойы қарсаңында Satbayev University-де Ақжан Машановтың қола бюсті салтанатты түрде ашылды. Сонымен бірге университетте ғалымның өмірі мен ғылыми мұрасын танытатын ғылыми-экспозициялық галерея жаңа мазмұнда жасақталды. Галереяның өзегі – «Жер қойнауының үйлесімі: игеруден қайта қалпына келтіруге дейін» және «Ғылыми әзірлемелер мен патенттер» атты тақырыптық паннолар. Олар кен

өндіру, қалдықтарды қайта өңдеу және табиғатты қалпына келтіруді біртұтас ғылыми жүйе ретінде көрсетеді.

Панноның екі қапталында Ақжан Машановпен бірге қазақ тау-кен ғылымын өркендеткен Қаныш Сәтбаев мектебінің көрнекті өкілдері – О. А. Байқоңыров, Ш. Е. Есенов, Е. А. Бөкетов, Ж. С. Ержанов және басқа ғалымдардың портреттері қойылған. Мерейтой аясында өтетін халықаралық конференцияның басты мақсаты – Ақжан әл-Машани мұрасын жаңа буынға таныту, жастарды ғылымға баулу және университеттің ғылыми дәстүрін жаңа деңгейге көтеру. «Әл-Машани оқулары» – ұстаз бен шәкірт сабақтастығын жалғайтын тағылымды ғылыми алаң.

Ғалымның мұрасы өткеннің ескерткіші емес, болашақтың бағдаршамы. Сондықтан Ақжан әл-Машаниды тану – жерді тану, ғылымды тану, ұлттың рухани биігін тану.

Ақжан әл-Машанидың «Жер қойнауының үйлесімі» туралы ғылыми тұжырымы арада алпыс жыл өтсе де өзінің өміршендігін жоғалтқан жоқ. Бүгінгі Қазақстан үшін бұл ұғым тек геология мен тау-кен ғылымына ғана емес, табиғатты қорғау, өндірістік қалдықтарды қайта өңдеу, ғылымды өндіріспен ұштастыру және жас ұрпаққа ұлттық құндылықтарды дәріптеу мәселелеріне де тікелей қатысты.

Ғалымның ғұмыры оның еңбектерінде, кітаптарында және шәкірттерінде жалғасады. Жаратушымыз, адамға екі тізе бергенде: біреуін ұстаздың алдында, екіншісін дәрігердің алдында бүгуге берген екен деген қағида бар. Сол айтылғандай, бүгінде ұлы ұстаздарымызды еске алу, рухтарын тірілту, олар туралы жастарға айтып кету – парыз!

Ұлы ұстазды еске алу, оның рухын жаңғыртып, ғылыми мұрасын жас ұрпаққа жеткізу – шәкірттік парыз ғана емес, ұлт ғылымының сабақтастығын сақтау. Сондықтан ғылымда өшпес із қалдырған тұлғаларды ұлықтау, олардың ашқан жаңалықтарын насихаттау және ұлылар салған даңғыл жолды жалғастыру – баршамызға ортақ парыз.



М. Б. Нұрпейісова, Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ профессоры, техника ғылым. докторы, академик,

Қазақстан Жазушылар одағының мүшесі

Қ. Б. Рысбеков, Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ Ө. А. Байқоңыров атындағы ТКМИ-ның директоры, академик, техника ғылым. кандидаты, профессор

АЛЕКСЕЙ ЦЕХОВОЙ: ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА К КУЛЬТУРЕ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

28 августа 2026 года исполнилось 85 лет Алексею Филипповичу Цеховому – доктору технических наук, профессору, академику, и. о. президента Международной академии информатизации, президенту Союза проектных менеджеров Республики Казахстан. Его профессиональный путь неразрывно связан с развитием казахстанской инженерной науки, горнодобывающей отрасли и высшего образования.

Горный инженер по образованию, Алексей Филиппович более полувека работает в системе Satbayev University. Начав деятельность в 1974 году, он прошел путь от декана инженерно-строительного общетехнического факультета и руководителя студенческой научно-исследовательской работы до заместителя проректора по науке, руководителя научно-исследовательской части, директора Центра новых информационных технологий, заведующего кафедрой и профессора университета.

Одним из главных направлений его научной деятельности стало автоматизированное управление сложными промышленными объектами. Более сорока лет Алексей Филиппович руководит исследованиями, связанными с созданием и внедрением информационных и управляющих систем в горнодобывающей промышленности. Эта работа всегда строилась на соединении инженерной точности с системным взглядом: предприятие рассматривалось не как совокупность отдельных процессов, а как единая динамическая система, в которой технологии, информация, люди и управленческие решения должны быть согласованы между собой.

Практический опыт горного инженера и исследователя закономерно привел Алексея Филипповича к проектному управлению. Он одним из первых в Казахстане увидел в нем не только метод реализации отдельных задач, но и самостоятельную профессиональную дисциплину, способную повысить результативность промышленности, государственного управления, науки и образования.

При его непосредственном участии в 2008 году направление «Управление проектами» было включено в Государственный классификатор специальностей Республики Казахстан. В КазНITU была реализована экспериментальная магистерская программа, а затем открыты магистратура и PhD-докторантура по этой специальности. Под его авторским руководством был подготовлен первый казахстанский учебник по управлению проектами.

В 2003 году Алексей Филиппович возглавил Союз проектных менеджеров Республики Казахстан, ставший профессиональной площадкой для распространения современных стандартов и подготовки специалистов. По его инициативе проводились международные форумы, конгрессы, круглые столы и образовательные программы.

Масштаб его профессиональных интересов подтверждается участием в проектах Программы развития ООН и экспертной оценке государственных программ «Электронное правительство», «Снижение информационного неравенства», «Информационный Казахстан – 2020», а также Государственной программы форсированного индустриально-инновационного развития. Он консультировал организации горно-металлургического, нефтегазового, геологоразведочного, аграрного и информационно-коммуникационного секторов, включая «Костанайские минералы», «Казгеологию», «КазМунайГаз», ФНБ «Сам-

рук-Қазына» и Парк инновационных технологий.

С 2025 года Алексей Филиппович – член Общественного совета при Министерстве искусственного интеллекта и цифрового развития Республики Казахстан.

Не менее значим вклад ученого в подготовку кадров. Под руководством Алексея Филипповича защищены две диссертации на соискание степени Ph.D и более двадцати магистерских диссертаций по управлению проектами. Его научное наследие насчитывает свыше 300 публикаций, включая четыре монографии и учебно-методические пособия.

В 2024 году Алексей Филиппович завершил проект по Agile-управлению портфелем развития МСБ. Его результатами стали практические руководства, модель компетенций руководителей и авторская разработка «Практика Agile-управления портфелем развития организации (ПАУПРО)», направленные на повышение управленческой эффективности бизнеса.

Следующим этапом стал проект ИРН AP26103501 «Разработка и интеграция моделей, методов и артефактов проектного управления в научно-исследовательскую деятельность национальных вузов Казахстана» (2025–2027), которым он руководит. Создаваемые руководства и инструменты должны повысить управляемость и результативность вузовских исследований.

Сегодня Алексей Филиппович продолжает активную научную и общественную работу в качестве и. о. президента Международной академии информатизации. Для него информатизация – это не только внедрение цифровых технологий, но прежде всего создание среды, в которой знания превращаются в практические решения, а научные идеи – в проекты развития. Именно такой подход объединяет основные этапы его профессиональной биографии.

Многолетний труд Алексея Филипповича отмечен государственными, отраслевыми и профессиональными наградами. Среди них – нагрудные знаки «Горняцкая слава» II и III степеней, победа в национальном отраслевом конкурсе «Золотой Гефест» в номинации «Ученый-педагог», а также награды за вклад в развитие науки и образования Республики Казахстан. В 2025 году он был удостоен ордена «Құрмет».

Однако главным итогом деятельности Алексея Филипповича остаются созданные им профессиональные и образовательные институты, подготовленные специалисты и сформированная культура управления, помогающая превращать инженерные знания в устойчивые результаты для отрасли и страны.

Отмечая юбилей Алексея Филипповича Цехового, научно-техническая и горная общественность желает ему доброго здоровья, активного долголетия, творческих успехов на благо Республики Казахстан.

Президиум ОО «МАИН», ОЮЛ «СПМ РК», ТОО «Антал», НАО «КазНITU им. К. И. Сатпаева», Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, «Горный журнал Казахстана».



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

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

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

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

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

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

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

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

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